



(10) **DE 10 2019 126 144 A1** 2021.04.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 126 144.9**

(22) Anmeldetag: **27.09.2019**

(43) Offenlegungstag: **01.04.2021**

(51) Int Cl.: **F02K 3/075 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, 15827
Blankenfelde-Mahlow, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2012 / 0 233 981	A1
US	5 315 821	A
US	3 946 554	A

(72) Erfinder:

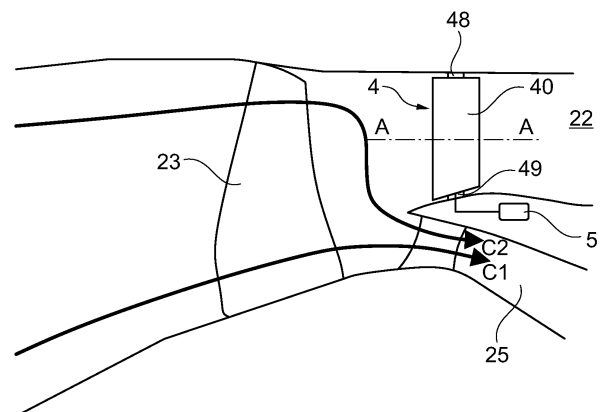
Sielaff, Enrique, 15827 Blankenfelde-Mahlow, DE

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Gasturbinentriebwerk und Verfahren zur Einstellung eines Ausgangsleitrads im Nebenstromkanal eines Gasturbinentriebwerks**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Gasturbinentriebwerk, das ein Kerntriebwerk (11), einen Fan (23), einen Kernstromkanal (25), einen Nebenstromkanal (22) und ein stromabwärts des (23) Fans im Nebenstromkanal (22) angeordnetes Ausgangsleitrad (4) mit einer Mehrzahl von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln (40) umfasst. Die Leitschaufeln (40) weisen einen Metallaustrittswinkel (α_2) auf, der sich bei einer Verstellung der Leitschaufeln (40) ändert. Es ist ein Verstellmechanismus (5) zur Verstellung der Leitschaufeln (40) vorgesehen, der gemäß einem Erfindungsaspekt dazu vorgesehen und ausgebildet, die Leitschaufeln (40) im Windmilling-Betrieb in eine zumindest teilweise geschlossene Stellung zu verschwenken, in der der Metallaustrittswinkel (α_2) mindestens 60° beträgt. Gemäß einem anderenfalls Aspekt ist der Verstellmechanismus (5) dazu vorgesehen und ausgebildet, die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb in eine teilweise geschlossene Stellung zu verschwenken, in der ein gegenüber dem Vollastbetrieb vergrößerter Druckverlust am Ausgangsleitrad (4) vorliegt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Gasturbinentriebwerk gemäß dem Oberbegriff der unabhängigen Patentansprüche und ein Verfahren zur Einstellung eines Ausgangsleittrads im Nebenstromkanal eines Gasturbinentriebwerks.

[0002] Um das Nebenstromverhältnis eines Turbofantriebwerks zu erhöhen, existiert die Tendenz, Turbofantriebwerke mit immer kleineren Kerntriebwerken zu realisieren. Dabei besteht allerdings die Herausforderung, zu große Schübe im Teillastbereich, d.h. bei Drehzahlen, die kleiner sind als die Auslegungsdrehzahl, zu vermeiden. Ein zu großer Teillast Schub wirkt sich beispielsweise negativ auf die Sinkflugeigenschaften des Flugzeugs aus. Gleichzeitig kann im Teillastbetrieb der Teillast Schub nicht beliebig reduziert werden, da höhere Laststufen des Kerntriebwerks erforderlich sind für die Erfüllung anderer Aufgaben wie die Verdichterstabilität und Dichteeigenschaften im Sekundärluftsystem des Triebwerks.

[0003] Eine weitere Herausforderung bei Turbofantriebwerken mit kleinem Kerntriebwerk ergibt sich aus der Sicherheitsanforderung, dass nach einem Ausfall eines Triebwerks die durch ein Mitdrehen des Triebwerks im Windmilling erreichte Drehgeschwindigkeit ausreichend groß sein muss, um ein erneutes Starten des Triebwerks zu ermöglichen. Bei geringeren Schaftdrehzahlen, wie sie bei Turbofantriebwerken mit kleinem Kerntriebwerk auftreten, ist es entsprechend schwieriger, eine ausreichende Drehgeschwindigkeit im Windmilling für ein Starten des Triebwerks zu erreichen.

[0004] Es ist weiter bekannt, im Nebenstromkanal eines Turbofantriebwerks hinter dem Fan ein Ausgangsleitrad anzuordnen, das auch als Fan-Ausgangsleitrad, Fanleitrad oder OGV („Outlet Guide Vane“) bezeichnet wird. Ein solches Leitrad dient dazu, durch den Fan erzeugten Drall aus dem Luftstrom zu nehmen.

[0005] In der Druckschrift US 5,259,187 ist ein Gasturbinentriebwerk beschrieben, bei dem das Ausgangsleitrad des Fans variabel verstellbar im Nebenstromkanal angeordnet ist. Die Verstellbarkeit des Ausgangsleittrads wird im Reiseflugschub dazu genutzt, die Strömungsrichtung im Nebenstromkanal möglichst parallel zur Längsachse des Triebwerks auszurichten und dadurch den Luftstrom im Nebenstromkanal zu maximieren. Die Verstellung der Leitschaufeln des Ausgangsleittrads erfolgt über einen Verstellring. Bei Ausfall eines Triebwerks werden die Leitschaufeln derart ausgerichtet, dass der Luftstrom durch den Nebenstromkanal maximiert wird. Für ein Abbremsen des Flugzeugs am Boden ist vorgese-

hen, die Leitschaufeln so zu verschwenken, dass sie den Luftstrom blockieren.

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Gasturbinentriebwerk und ein Verfahren bereitzustellen, die verbesserte Triebwerkeigenschaften bei Teillast und im Windmilling-Betrieb ermöglichen.

[0007] Diese Aufgabe wird durch ein Gasturbinentriebwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Gasturbinentriebwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 4, ein Gasturbinentriebwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 6, ein Gasturbinentriebwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 8, ein Gasturbinentriebwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 10 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst. Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Danach betrachtet die Erfindung ein Gasturbinentriebwerk, das ein Kerntriebwerk, einen Fan, einen Kernstromkanal, einen Nebenstromkanal und ein stromabwärts des Fans im Nebenstromkanal angeordnetes Ausgangsleitrad aufweist. Das Ausgangsleitrad umfasst eine Mehrzahl von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln, die sich in radialer Richtung im Nebenstromkanal erstrecken, wobei die Leitschaufeln einen Metallaustrittswinkel aufweisen, der sich bei einer Verstellung der Leitschaufeln ändert. Des Weiteren ist ein Verstellmechanismus zur Verstellung der Leitschaufeln vorgesehen.

[0009] Dabei ist der Metallaustrittswinkel definiert als Winkel zwischen der Tangente an die Skelettlinie der Leitschaufel an der Schaufelhinterkante und der axialen Richtung des Gasturbinentriebwerks.

[0010] Gemäß einem ersten Erfindungsaspekt ist vorgesehen, dass der Verstellmechanismus dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln im Windmilling-Betrieb in eine zumindest teilweise geschlossene Stellung zu verschwenken, in der der Metallaustrittswinkel mindestens 60° beträgt.

[0011] Die vorliegende Erfindung beruht gemäß dem ersten Erfindungsaspekt auf dem Gedanken, im Windmilling durch teilweises oder vollständiges Blockieren des Nebenstromkanals mehr Luft des Fans in das Kerntriebwerk zu leiten und dadurch in diesem eine höhere Wellendrehzahl zu erreichen. Die vom Triebwerk im Windmilling aufgefangene Stromröhre teilt sich nach dem Widerstandsprinzip auf den Nebenstromkanal und den Kernstromkanal. Vergrößert sich der Widerstand im Nebenstromkanal, ergibt sich ein größerer Massenstrom durch den Kernstromkanal, was in höheren Drehzahlen resultiert. Damit ergeben sich verbesserte Triebwerkeigenschaften im Windmilling-Betrieb.

[0012] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass der Verstellmechanismus dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln im Windmilling-Betrieb in eine vollständig geschlossene Stellung zu verschwenken, in der die Leitschaufeln den Luftstrom durch den Nebenstromkanal blockieren. Hierzu ist es erforderlich, die Leitschaufeln in einer Weise zu formen, dass sich eine Überlappung der Leitschaufeln im vollständig geschlossenen Zustand einstellt. Eine Ausgestaltung hierzu sieht vor, dass das Verhältnis von Gitterteilung zu Profilleitlänge der Leitschaufeln des Ausgangsleittrads über die gesamte Schaufelhöhe kleiner als 1 ist.

[0013] Gemäß einem zweiten Erfindungsaspekt ist vorgesehen, dass der Verstellmechanismus dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln im Windmilling-Betrieb in eine geöffnete Stellung zu verschwenken, in der der Metallaustrittswinkel kleiner oder gleich minus 20° ist.

[0014] Der zweite Erfindungsaspekt beruht auf dem Gedanken, durch Öffnen der Schaufeln den Druckverlust über dem Ausgangsleitrad und damit im Nebenstromkanal zu verringern.

[0015] Hierdurch ergibt sich eine größere aufgefangene Stromröhre im Windmilling und damit eine größere Drehzahl der Niederdruckwelle. Dies wiederum führt zu einem erhöhten nabennahen Fandruckverhältnis, so dass das Druckverhältnis im Kernstromkanal erhöht wird und eine höhere Drehzahl der Hochdruckwelle erreicht werden kann. Dies ist günstig für das Erfordernis, das Triebwerk durch die im Windmilling bereitgestellte Drehzahl wieder starten zu können.

[0016] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass die Leitschaufeln derart ausgerichtet sind, dass der Druckverlust im Windmilling-Betrieb am Ausgangsleitrad minimal ist.

[0017] Gemäß einem dritten Erfindungsaspekt ist vorgesehen, dass der Verstellmechanismus dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln im Teillastbetrieb in eine teilweise geschlossene Stellung zu verschwenken, in der ein gegenüber dem Vollastbetrieb vergrößerter Druckverlust am Ausgangsleitrad vorliegt.

[0018] Die erfindungsgemäße Lösung beruht gemäß dem dritten Erfindungsaspekt auf dem Gedanken, einen zu großen Schub des Triebwerks im Teillastbereich zu vermeiden, indem die Leitschaufeln des Ausgangsleittrads dahingehend eingestellt werden, dass der Schub des Triebwerks verringert wird. Das Kerntriebwerk kann dann auf höheren Laststufen laufen, ohne dass dies zu einem zu hohen Teillast Schub führt. Gleichzeitig wirkt sich das Betreiben des Kerntriebwerks bei höheren Laststufen po-

sitiv auf Verdichterstabilität, Emissionen, Dichteigenschaften im Sekundärluftsystem sowie auf den Zapfluftdruck und die Temperatur für das Flugzeug aus.

[0019] Durch die Möglichkeit, den Luftstrom im Nebenstromkanal durch eine entsprechende Verstellung der Leitschaufeln zu reduzieren oder sogar vollständig zu blockieren, kann dabei eine Reduktion des resultierenden Gesamtschubs des Triebwerks erreicht werden.

[0020] Eine Ausgestaltung sieht dabei vor, dass die Leitschaufeln im Teillastbetrieb derart verschwenkt sind, dass der Metallaustrittswinkel mindestens 60° beträgt.

[0021] Gemäß einem vierten Erfindungsaspekt ist vorgesehen, dass der Verstellmechanismus dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln im Teillastbetrieb in eine geöffnete Stellung zu verschwenken, in der der Metallaustrittswinkel kleiner oder gleich minus 20° ist.

[0022] Die erfindungsgemäße Lösung beruht gemäß dem vierten Erfindungsaspekt auf dem Gedanken, einen zu großen Schub des Triebwerks im Teillastbereich zu vermeiden, indem die Leitschaufeln in eine geöffnete Stellung verschwenkt werden. Dies führt im Teillastbetrieb zu einem Strömungsabriss sowohl an der Vorderkante als auch an der Hinterkante der jeweiligen Schaufel. Dies geht einher mit einem stark vergrößerten Druckverlust. Der Metallaustrittswinkel ist in der geöffneten Stellung der Leitschaufeln zu negativen Werten hin verändert.

[0023] Gemäß einem fünften Erfindungsaspekt ist vorgesehen, dass der Verstellmechanismus aus einer Mehrzahl individueller Einstelleinrichtungen besteht, wobei die Leitschaufeln über die Einstelleinrichtungen individuell verstellbar sind.

[0024] Dieser Erfindungsaspekt beruht auf dem Gedanken, durch individuelle Verstellbarkeit der einzelnen Leitschaufeln eine Homogenisierung des Druckfeldes im Nebenstromkanal hinter dem Eintrittsleitrad zu erreichen. Dabei kann die Stromaufwirkung der stromabwärts des Ausgangsleittrads liegenden Komponenten und Einbauten auf den Fan und dessen Stabilitätsverhalten positiv beeinflusst werden.

[0025] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass die Leitschaufeln in Abhängigkeit von definierten Verstellgesetzen individuell eingestellt sind, die eine Verstellung der einzelnen Leitschaufeln in Abhängigkeit von der Laststufe und in Abhängigkeit von Einbauten vornehmen, die stromabwärts des Ausgangsleittrads im Nebenstromkanal angeordnet sind. Eine Reduktion der Stromaufwirkung von Einbauten erfolgt somit durch eine individuelle Einstellung der einzelnen Leitschaufeln. Die erforderliche Einstellung der Leit-

schaufeln kann beispielsweise gemessen oder berechnet werden.

[0026] Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass die Leitschaufeln derart individuell eingestellt sind, dass Asymmetrien im Druckfeld hinter dem Ausgangsleitrad, die bei einheitlich verstellten Leitschaufeln vorhanden wären, reduziert sind.

[0027] Sofern die Leitschaufeln des Ausgangsleittrads als Tandem-Leitschaufeln ausgebildet sind, die eine stromaufwärtige Leitschaufel und eine stromabwärtige Leitschaufel umfassen, so ist vorgesehen, dass die stromabwärtige Leitschaufel verstellbar ausgebildet und durch den Verstellmechanismus verstellbar ist.

[0028] Für sämtliche der beschriebenen Ausführungsbeispiele wird auf Folgendes hingewiesen. Der Verstellmechanismus zur Verstellung der Leitschaufeln kann ein einheitlicher Verstellmechanismus sein, der sämtliche Leitschaufeln in gleicher Weise verstellt. Dies ist jedoch nicht notwendigerweise der Fall. Alternativ kann es sich bei dem Verstellmechanismus um eine Mehrzahl individueller Einstelleinrichtungen handeln, die jeweils einer Leitschaufel zugeordnet sind und diese verstellen können.

[0029] Die Betätigung des Verstellmechanismus zur Verstellung der Leitschaufeln und Einstellung des gewünschten Metallaustrittswinkels wird durch eine Steuereinrichtung, beispielsweise durch eine elektronische Triebwerkssteuerung (EEC, „Electronic Engine Control“), gesteuert, wobei die Steuerung abhängig vom Betriebszustand des Gasturbinenriebwerks erfolgt. Insofern wird eine Einstellung und Verschwenkung der Leitschaufeln durch eine Steuereinrichtung bewirkt, wobei der Verstellmechanismus durch die Steuereinrichtung entsprechende Verstellbefehle erhält.

[0030] In einem weiteren Erfindungsaspekt weist das Gasturbinenriebwerk auf:

- den Triebwerkskern, der eine Turbine, einen Verdichter und eine die Turbine mit dem Verdichter verbindende, als Hohlwelle ausgebildete Turbinenwelle umfasst;
- den Fan; und
- ein Getriebe, das einen Eingang von der Turbinenwelle empfängt und Antrieb für den Fan zum Antreiben des Fans mit einer niedrigeren Drehzahl als die Turbinenwelle abgibt.

[0031] Gemäß dieser Erfindungsvariante ist das Gasturbinenriebwerk mit einem Untersetzungsgetriebe zwischen der Turbinenwelle und dem Fan versehen. Ein solche Bauweise ist vorteilhaft, um ein hohes Nebenstromverhältnis und kleine Kertriebwerke zu realisieren.

[0032] Eine Ausgestaltung hierzu kann vorsehen, dass

- die Turbine eine erste Turbine ist, der Verdichter ein erster Verdichter ist und die Turbinenwelle eine erste Turbinenwelle ist;
- der Triebwerkskern ferner eine zweite Turbine, einen zweiten Verdichter und eine zweite Turbinenwelle, die die zweite Turbine mit dem zweiten Verdichter verbindet, umfasst; und
- die zweite Turbine, der zweite Verdichter und die zweite Turbinenwelle dahingehend angeordnet sind, sich mit einer höheren Drehzahl als die erste Turbinenwelle zu drehen.

[0033] Gemäß einem weiteren Erfindungsaspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Einstellung von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln eines Ausgangsleittrads eines Gasturbinenriebwerks, das stromabwärts eines Fans des Gasturbinenriebwerks im Nebenstromkanal des Gasturbinenriebwerks angeordnet ist.

[0034] Es ist vorgesehen, dass

- die Leitschaufeln im Windmilling-Betrieb in eine zumindest teilweise geschlossene Stellung verschwenkt werden, in der der Metallaustrittswinkel mindestens 60° beträgt, oder
- die Leitschaufeln im Windmilling-Betrieb in eine geöffnete Stellung verschwenkt werden, in der der Metallaustrittswinkel weniger als minus 20° beträgt, und/oder
- die Leitschaufeln im Teillastbetrieb in eine teilweise geschlossene Stellung verschwenkt werden, in der ein gegenüber dem Vollastbetrieb vergrößerter Druckverlust am Ausgangsleitrad vorliegt, oder
- die Leitschaufeln im Teillastbetrieb in eine geöffnete Stellung verschwenkt werden, in der der Metallaustrittswinkel weniger als minus 20° beträgt.

[0035] Es wird darauf hingewiesen, dass die vorstehend beschriebenen Erfindungsaspekte auch miteinander kombiniert werden können, sofern sie sich nicht ausschließen. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass der Verstellmechanismus sowohl eine Einstellung im Windmilling-Betrieb als auch eine Einstellung im Teillastbetrieb vornimmt, somit beispielsweise die Erfindungsvarianten der Ansprüche 1 und 6 oder 1 und 8 oder 4 und 6 oder 4 und 8 kombiniert sind. Weiter können die Erfindungsvarianten der Ansprüche 1, 4, 6 und 8 jeweils oder in Kombination mit der Ausführungsvariante gemäß Anspruch 10, wonach die Leitschaufeln individuell einstellbar sind, kombiniert werden.

[0036] Es wird darauf hingewiesen, dass die vorliegende Erfindung bezogen auf ein zylindrisches Koordinatensystem beschrieben ist, das die Koordinaten x , r und φ aufweist. Dabei gibt x die axiale Richtung, r die radiale Richtung und φ den Winkel in Umfangsrichtung an. Die axiale Richtung ist dabei identisch mit der Maschinenachse des Gasturbinentriebwerks, wobei die axiale Richtung vom Triebwerkseingang in Richtung des Triebwerksausgangs zeigt. Von der x -Achse ausgehend zeigt die radiale Richtung radial nach außen. Begriffe wie „vor“, „hintere“, „vordere“ und „hintere“ beziehen sich auf die axiale Richtung bzw. die Strömungsrichtung im Triebwerk. Begriffe wie „äußere“ oder „innere“ beziehen sich auf die radiale Richtung.

[0037] Wie hier an anderer Stelle angeführt wird, kann sich die vorliegende Offenbarung auf ein Gasturbinentriebwerk beziehen. Solch ein Gasturbinentriebwerk kann einen Triebwerkskern umfassen, der eine Turbine, einen Brennraum, einen Verdichter und eine die Turbine mit dem Verdichter verbindende Kernwelle umfasst. Solch ein Gasturbinentriebwerk kann ein Gebläse (mit Gebläseschaufeln) umfassen, das stromaufwärts des Triebwerkskerns positioniert ist.

[0038] Anordnungen der vorliegenden Offenbarung können insbesondere, jedoch nicht ausschließlich, für Gebläse, die über ein Getriebe angetrieben werden, von Vorteil sein. Entsprechend kann das Gasturbinentriebwerk ein Getriebe umfassen, das einen Eingang von der Kernwelle empfängt und Antrieb für das Gebläse zum Antreiben des Gebläses mit einer niedrigeren Drehzahl als die Kernwelle abgibt. Der Eingang für das Getriebe kann direkt von der Kernwelle oder indirekt von der Kernwelle, beispielsweise über eine Stirnwelle und/oder ein Stirnzahnrad, erfolgen. Die Kernwelle kann mit der Turbine und dem Verdichter starr verbunden sein, so dass sich die Turbine und der Verdichter mit derselben Drehzahl drehen (wobei sich das Gebläse mit einer niedrigeren Drehzahl dreht).

[0039] Das Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann eine beliebige geeignete allgemeine Architektur aufweisen. Beispielsweise kann das Gasturbinentriebwerk eine beliebige gewünschte Anzahl an Wellen, die Turbinen und Verdichter verbinden, beispielsweise eine, zwei oder drei Wellen, aufweisen. Lediglich beispielhaft kann die mit der Kernwelle verbundene Turbine eine erste Turbine sein, die mit der Kernwelle verbundene Verdichter kann ein erster Verdichter sein und die Kernwelle kann eine erste Kernwelle sein. Der Triebwerkskern kann ferner eine zweite Turbine, einen zweiten Verdichter und eine zweite Kernwelle, die die zweite Turbine mit dem zweiten Verdichter verbindet, umfassen. Die zweite Turbine, der zweite Verdichter und die zweite Kernwelle können dahinge-

hend angeordnet sein, sich mit einer höheren Drehzahl als die erste Kernwelle zu drehen.

[0040] Bei solch einer Anordnung kann der zweite Verdichter axial stromabwärts des ersten Verdichters positioniert sein. Der zweite Verdichter kann dahingehend angeordnet sein, Strömung von dem ersten Verdichter aufzunehmen (beispielsweise direkt aufzunehmen, beispielsweise über einen allgemein ringförmigen Kanal).

[0041] Das Getriebe kann dahingehend angeordnet sein, von der Kernwelle, die dazu konfiguriert ist, sich (beispielsweise im Gebrauch) mit der niedrigsten Drehzahl zu drehen, (beispielsweise die erste Kernwelle in dem obigen Beispiel) angetrieben zu werden. Beispielsweise kann das Getriebe dahingehend angeordnet sein, lediglich von der Kernwelle, die dazu konfiguriert ist, sich (beispielsweise im Gebrauch) mit der niedrigsten Drehzahl zu drehen, (beispielsweise nur von der ersten Kernwelle und nicht der zweiten Kernwelle bei dem obigen Beispiel) angetrieben zu werden. Alternativ dazu kann das Getriebe dahingehend angeordnet sein, von einer oder mehreren Wellen, beispielsweise der ersten und/oder der zweiten Welle in dem obigen Beispiel, angetrieben zu werden.

[0042] Bei einem Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann ein Brennraum axial stromabwärts des Gebläses und des Verdichters (der Verdichter) vorgesehen sein. Beispielsweise kann der Brennraum direkt stromabwärts des zweiten Verdichters (beispielsweise an dessen Ausgang) liegen, wenn ein zweiter Verdichter vorgesehen ist. Als ein weiteres Beispiel kann die Strömung am Ausgang des Verdichters dem Einlass der zweiten Turbine zugeführt werden, wenn eine zweite Turbine vorgesehen ist. Der Brennraum kann stromaufwärts der Turbine (der Turbinen) vorgesehen sein.

[0043] Der oder jeder Verdichter (beispielsweise der erste Verdichter und der zweite Verdichter gemäß obiger Beschreibung) kann eine beliebige Anzahl an Stufen, beispielsweise mehrere Stufen, umfassen. Jede Stufe kann eine Reihe von Rotorschaukeln und eine Reihe von Statorschaufeln, bei denen es sich um variable Statorschaufeln (dahingehend, dass ihr Anstellwinkel variabel sein kann) handeln kann, umfassen. Die Reihe von Rotorschaukeln und die Reihe von Statorschaufeln können axial voneinander versetzt sein.

[0044] Die oder jede Turbine (beispielsweise die erste Turbine und die zweite Turbine gemäß obiger Beschreibung) kann eine beliebige Anzahl an Stufen, beispielsweise mehrere Stufen, umfassen. Jede Stufe kann eine Reihe von Rotorschaukeln und eine Reihe von Statorschaufeln umfassen. Die Reihe von Ro-

torschaufeln und die Reihe von Statorschaufeln können axial voneinander versetzt sein.

[0045] Jede Gebläseschaufel kann mit einer radialen Spannweite definiert sein, die sich von einem Fuß (oder einer Nabe) an einer radial innenliegenden von Gas überströmten Stelle oder an einer Position einer Spannweite von 0 % zu einer Spitze an einer Position einer Spannweite von 100 % erstreckt. Das Verhältnis des Radius der Gebläseschaufel an der Nabe zu dem Radius der Gebläseschaufel an der Spitze kann weniger als (oder in der Größenordnung von): 0,4, 0,39, 0,38, 0,37, 0,36, 0,35, 0,34, 0,33, 0,32, 0,31, 0,3, 0,29, 0,28, 0,27, 0,26 oder 0,25 liegen. Das Verhältnis des Radius der Gebläseschaufel an der Nabe zu dem Radius der Gebläseschaufel an der Spitze kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Diese Verhältnisse können allgemein als das Nabe-Spitze-Verhältnis bezeichnet werden. Der Radius an der Nabe und der Radius an der Spitze können beide an dem vorderen Randteil (oder dem axial am weitesten vorne liegenden Rand) der Schaufel gemessen werden. Das Nabe-Spitze-Verhältnis bezieht sich natürlich auf den von Gas überströmten Abschnitt der Gebläseschaufel, d. h. den Abschnitt, der sich radial außerhalb jeglicher Plattform befindet.

[0046] Der Radius des Gebläses kann zwischen der Mittellinie des Triebwerks und der Spitze der Gebläseschaufel an ihrem vorderen Rand gemessen werden. Der Durchmesser des Gebläses (der einfach das Doppelte des Radius des Gebläses sein kann) kann größer als (oder in der Größenordnung von): 250 cm (etwa 100 Inch), 260 cm, 270 cm (etwa 105 Inch), 280 cm (etwa 110 Inch), 290 cm (etwa 115 Inch), 300 cm (etwa 120 Inch), 310 cm, 320 cm (etwa 125 Inch), 330 cm (etwa 130 Inch), 340 cm (etwa 135 Inch), 350 cm, 360 cm (etwa 140 Inch), 370 cm (etwa 145 Inch), 380 cm (etwa 150 Inch) oder 390 cm (etwa 155 Inch) sein (liegen). Der Gebläsedurchmesser kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0047] Die Drehzahl des Gebläses kann im Gebrauch variieren. Allgemein ist die Drehzahl geringer für Gebläse mit einem größeren Durchmesser. Lediglich als ein nicht einschränkendes Beispiel kann die Drehzahl des Gebläses bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen weniger als 2500 U/min, beispielsweise weniger als 2300 U/min, betragen. Lediglich als ein weiteres nicht einschränkendes Beispiel kann auch die Drehzahl des Gebläses bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen für ein Triebwerk mit einem Gebläsedurchmesser im Bereich von 250 cm bis 300 cm (beispielsweise 250 cm bis 280 cm) im Be-

reich von 1700 U/min bis 2500 U/min, beispielsweise im Bereich von 1800 U/min bis 2300 U/min, beispielsweise im Bereich von 1900 U/min bis 2100 U/min, liegen. Lediglich als ein weiteres nicht einschränkendes Beispiel kann die Drehzahl des Gebläses bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen für ein Triebwerk mit einem Gebläsedurchmesser im Bereich von 320 cm bis 380 cm in dem Bereich von 1200 U/min bis 2000 U/min, beispielsweise in dem Bereich von 1300 U/min bis 1800 U/min, beispielsweise in dem Bereich von 1400 U/min bis 1600 U/min, liegen.

[0048] Im Gebrauch des Gasturbinentriebwerks dreht sich das Gebläse (mit zugehörigen Gebläseschaufeln) um eine Drehachse. Diese Drehung führt dazu, dass sich die Spitze der Gebläseschaufel mit einer Geschwindigkeit U_{Spitze} bewegt. Die von den Gebläseschaufeln an der Strömung verrichtete Arbeit resultiert in einem Anstieg der Enthalpie dH der Strömung. Eine Gebläsespitzenbelastung kann als dH/U_{Spitze}^2 definiert werden, wobei dH der Enthalpieanstieg (beispielsweise der durchschnittliche 1-D-Enthalpieanstieg) über das Gebläse hinweg ist und U_{Spitze} die (Translations-) Geschwindigkeit der Gebläsespitze, beispielsweise an dem vorderen Rand der Spitze, ist (die als Gebläsespitzenradius am vorderen Rand multipliziert mit der Winkelgeschwindigkeit definiert werden kann). Die Gebläsespitzenbelastung bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen kann mehr als (oder in der Größenordnung von): 0,3, 0,31, 0,32, 0,33, 0,34, 0,35, 0,36, 0,37, 0,38, 0,39 oder 0,4 betragen (liegen) (wobei alle Einheiten in diesem Abschnitt $\text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}/(\text{ms}^{-1})^2$ sind). Die Gebläsespitzenbelastung kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0049] Gasturbinentriebwerke gemäß der vorliegenden Offenbarung können ein beliebiges gewünschtes Bypassverhältnis aufweisen, wobei das Bypassverhältnis als das Verhältnis des Massendurchsatzes der Strömung durch den Bypasskanal zu dem Massendurchsatz der Strömung durch den Kern bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen definiert wird. Bei einigen Anordnungen kann das Bypassverhältnis mehr als (in der Größenordnung von): 10, 10,5, 11, 11,5, 12, 12,5, 13, 13,5, 14, 14,5, 15, 15,5, 16, 16,5 oder 17 betragen (liegen). Das Bypassverhältnis kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Der Bypasskanal kann im Wesentlichen ringförmig sein. Der Bypasskanal kann sich radial außerhalb des Triebwerkskerns befinden. Die radial äußere Fläche des Bypasskanals kann durch eine Triebwerksgondel und/oder ein Gebläsegehäuse definiert werden.

[0050] Das Gesamtdruckverhältnis eines Gasturbinentriebwerks, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann als das Verhältnis des Staudrucks stromaufwärts des Gebläses zu dem Staudruck am Ausgang des Höchstdruckverdichters (vor dem Eingang in den Brennraum) definiert werden. Als ein nicht einschränkendes Beispiel kann das Gesamtdruckverhältnis eines Gasturbinentriebwerks, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, bei Konstantgeschwindigkeit mehr als (oder in der Größenordnung von): 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 betragen (liegen). Das Gesamtdruckverhältnis kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0051] Der spezifische Schub eines Triebwerks kann als der Nettoschub des Triebwerks dividiert durch den Gesamtmassenstrom durch das Triebwerk hindurch definiert werden. Bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen kann der spezifische Schub eines Triebwerks, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, weniger als (oder in der Größenordnung von) : 110 Nkg⁻¹s, 105 Nkg⁻¹s, 100 Nkg⁻¹s, 95 Nkg⁻¹s, 90 Nkg⁻¹s, 85 Nkg⁻¹s oder 80 Nkg⁻¹s betragen (liegen). Der spezifische Schub kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Solche Triebwerke können im Vergleich zu herkömmlichen Gasturbinentriebwerken besonders effizient sein.

[0052] Ein Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann einen beliebigen gewünschten Höchstschub aufweisen. Lediglich als ein nicht einschränkendes Beispiel kann eine Gasturbine, die hier beschrieben und/oder beansprucht wird, zur Erzeugung eines Höchstschubs von mindestens (oder in der Größenordnung von): 160 kN, 170kN, 180kN, 190kN, 200kN, 250kN, 300kN, 350kN, 400kN, 450kN, 500kN oder 550kN in der Lage sein. Der Höchstschub kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Der Schub, auf den oben Bezug genommen wird, kann der Nettohöchstschub bei standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen auf Meereshöhe plus 15 Grad C (Umgebungsdruck 101,3 kPa, Temperatur 30 Grad C) bei statischem Triebwerk sein.

[0053] Im Gebrauch kann die Temperatur der Strömung am Eingang der Hochdruckturbine besonders hoch sein. Diese Temperatur, die als TET bezeichnet werden kann, kann an dem Ausgang zum Brennraum, beispielsweise unmittelbar stromaufwärts der ersten Turbinenschaufel, die wiederum als eine Düsenleitschaufel bezeichnet werden kann, gemessen werden. Bei Konstantgeschwindigkeit kann die

TET mindestens (oder in der Größenordnung von) : 1400K, 1450K, 1500K, 1550K, 1600K oder 1650K betragen (liegen). Die TET bei Konstantgeschwindigkeit kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Die maximale TET im Gebrauch des Triebwerks kann beispielsweise mindestens (oder in der Größenordnung von): 1700K, 1750K, 1800K, 1850K, 1900K, 1950K oder 2000K betragen (liegen). Die maximale TET kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Die maximale TET kann beispielsweise bei einer Bedingung von hohem Schub, beispielsweise bei einer MTO-Bedingung (MTO - Maximum Take-Off thrust - maximaler Startschub), auftreten.

[0054] Eine Gebläseschaufel und/oder ein Blattabschnitt einer Gebläseschaufel, die hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann aus einem beliebigen geeigneten Material oder einer Kombination aus Materialien hergestellt werden. Beispielsweise kann zumindest ein Teil der Gebläseschaufel und/oder des Blatts zumindest zum Teil aus einem Verbundstoff, beispielsweise einem Metallmatrix-Verbundstoff und/oder einem Verbundstoff mit organischer Matrix, wie z. B. Kohlefaser, hergestellt werden. Als ein weiteres Beispiel kann zumindest ein Teil der Gebläseschaufel und/oder des Blatts zumindest zum Teil aus einem Metall, wie z. B. einem auf Titan basierendem Metall oder einem auf Aluminium basierendem Material (wie z. B. einer Aluminium-Lithium-Legierung) oder einem auf Stahl basierendem Material hergestellt werden. Die Gebläseschaufel kann mindestens zwei Bereiche umfassen, die unter Verwendung verschiedener Materialien hergestellt werden. Beispielsweise kann die Gebläseschaufel einen vorderen Schutzrand aufweisen, der unter Verwendung eines Materials hergestellt wird, das dem Aufschlagen (beispielsweise von Vögeln, Eis oder anderem Material) besser widerstehen kann als der Rest der Schaufel. Solch ein vorderer Rand kann beispielsweise unter Verwendung von Titan oder einer auf Titan basierenden Legierung hergestellt werden. Somit kann die Gebläseschaufel lediglich als ein Beispiel einen auf Kohlefaser oder Aluminium basierenden Körper (wie z. B. eine Aluminium-Lithium-Legierung) mit einem vorderen Rand aus Titan aufweisen.

[0055] Ein Gebläse, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann einen mittleren Abschnitt umfassen, von dem sich die Gebläseschaufeln, beispielsweise in einer radialen Richtung, erstrecken können. Die Gebläseschaufeln können auf beliebige gewünschte Art und Weise an dem mittleren Abschnitt angebracht sein. Beispielsweise kann jede Gebläseschaufel eine Fixier Vorrichtung umfassen, die mit einem entsprechenden Schlitz in der Na-

be (oder Scheibe) in Eingriff gelangen kann. Lediglich als ein Beispiel kann solch eine Fixierungsvorrichtung in Form eines Schwalbenschwanzes vorliegen, der zur Fixierung der Gebläseschaufel an der Nabe/Scheibe in einen entsprechenden Schlitz in der Nabe/Scheibe eingesteckt und/oder damit in Eingriff gebracht werden kann. Als ein weiteres Beispiel können die Gebläseschaufeln integral mit einem mittleren Abschnitt ausgebildet sein. Solch eine Anordnung kann als eine Blisk oder ein Bling bezeichnet werden. Ein beliebiges geeignetes Verfahren kann zur Herstellung solch einer Blisk oder solch eines Bling verwendet werden. Beispielsweise kann zumindest ein Teil der Gebläseschaufeln aus einem Block maschinell herausgearbeitet werden und/oder mindestens ein Teil der Gebläseschaufeln kann durch Schweißen, wie z. B. lineares Reibschweißen, an der Nabe/Scheibe angebracht werden.

[0056] Die Gasturbinentriebwerke, die hier beschrieben und/oder beansprucht werden, können oder können nicht mit einer VAN (Variable Area Nozzle - Düse mit variablem Querschnitt) versehen sein. Solch eine Düse mit variablem Querschnitt kann eine Variation des Ausgangsquerschnitts des Bypasskanals im Gebrauch gestatten. Die allgemeinen Prinzipien der vorliegenden Offenbarung können auf Triebwerke mit oder ohne eine VAN zutreffen.

[0057] Das Gebläse einer Gasturbine, die hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann eine beliebige gewünschte Anzahl an Gebläseschaufeln, beispielsweise 16, 18, 20 oder 22 Gebläseschaufeln, aufweisen.

[0058] Gemäß der hier erfolgenden Verwendung können Konstantgeschwindigkeitsbedingungen Konstantgeschwindigkeitsbedingungen eines Luftfahrzeugs, an dem das Gasturbinentriebwerk angebracht ist, bedeuten. Solche Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können herkömmlicherweise als die Bedingungen während des mittleren Teils des Flugs definiert werden, beispielsweise die Bedingungen, denen das Luftfahrzeug und/oder das Triebwerk zwischen (hinsichtlich Zeit und/oder Entfernung) dem Ende des Steigflugs und dem Beginn des Sinkflugs ausgesetzt wird bzw. werden.

[0059] Lediglich als ein Beispiel kann die Vorwärtsgeschwindigkeit bei der Konstantgeschwindigkeitsbedingung bei einem beliebigen Punkt im Bereich von Mach 0,7 bis 0,9, beispielsweise 0,75 bis 0,85, beispielsweise 0,76 bis 0,84, beispielsweise 0,77 bis 0,83, beispielsweise 0,78 bis 0,82, beispielsweise 0,79 bis 0,81, beispielsweise in der Größenordnung von Mach 0,8, in der Größenordnung von Mach 0,85 oder in dem Bereich von 0,8 bis 0,85 liegen. Eine beliebige Geschwindigkeit innerhalb dieser Bereiche kann die Konstantfahrtbedingung sein. Bei einigen Luftfahrzeugen können die Konstantfahrtbedin-

gungen außerhalb dieser Bereiche, beispielsweise unter Mach 0,7 oder über Mach 0,9, liegen.

[0060] Lediglich als ein Beispiel können die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen bei einer Höhe, die im Bereich von 10.000 m bis 15.000 m, beispielsweise im Bereich von 10.000 m bis 12.000 m, beispielsweise im Bereich von 10.400 m bis 11.600 m (etwa 38.000 Fuß) beispielsweise im Bereich von 10.500 m bis 11.500 m, beispielsweise im Bereich von 10.600 m bis 11.400 m, beispielsweise im Bereich von 10.700 m (etwa 35.000 Fuß) bis 11.300 m, beispielsweise im Bereich von 10.800 m bis 11.200 m, beispielsweise im Bereich von 10.900 m bis 11.100 m, beispielsweise in der Größenordnung von 11.000 m, liegt, entsprechen. Die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen bei einer beliebigen gegebenen Höhe in diesen Bereichen entsprechen.

[0061] Lediglich als ein Beispiel können die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen Folgendem entsprechen: einer Vorwärts-Mach-Zahl von 0,8; einem Druck von 23.000 Pa und einer Temperatur von -55 Grad C.

[0062] So wie sie hier durchweg verwendet werden, können „Konstantgeschwindigkeit“ oder „Konstantgeschwindigkeitsbedingungen“ den aerodynamischen Auslegungspunkt bedeuten. Solch ein aerodynamischer Auslegungspunkt (oder ADP - Aerodynamic Design Point) kann den Bedingungen (darunter beispielsweise die Mach-Zahl, Umgebungsbedingungen und Schubanforderung), für die der Gebläsebetrieb ausgelegt ist, entsprechen. Dies kann beispielsweise die Bedingungen, bei denen das Gebläse (oder das Gasturbinentriebwerk) konstruktionsgemäß den optimalen Wirkungsgrad aufweist, bedeuten.

[0063] Im Gebrauch kann ein Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, bei den Konstantgeschwindigkeitsbedingungen, die hier an anderer Stelle definiert werden, betrieben werden. Solche Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können von den Konstantgeschwindigkeitsbedingungen (beispielsweise den Bedingungen während des mittleren Teils des Fluges) eines Luftfahrzeugs, an dem mindestens ein (beispielsweise 2 oder 4) Gasturbinentriebwerk zur Bereitstellung von Schubkraft befestigt sein kann, bestimmt werden.

[0064] Für den Fachmann ist verständlich, dass ein Merkmal oder Parameter, das bzw. der in Bezug auf einen der obigen Aspekte beschrieben wird, bei einem beliebigen anderen Aspekt angewendet werden kann, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen. Des Weiteren kann ein beliebiges Merkmal oder ein

beliebiger Parameter, das bzw. der hier beschrieben wird, bei einem beliebigen Aspekt angewendet werden und/oder mit einem beliebigen anderen Merkmal oder Parameter, das bzw. der hier beschrieben wird, kombiniert werden, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen.

[0065] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Seitenschnittansicht eines Gasturbinentriebwerks;

Fig. 2 eine Seitenschnittgroßansicht eines stromaufwärtigen Abschnitts eines Gasturbinentriebwerks;

Fig. 3 eine zum Teil weggeschnittene Ansicht eines Getriebes für ein Gasturbinentriebwerk;

Fig. 4 den grundlegenden geometrischen Aufbau und die Basisbezeichnungen an einem Schaufelgitter;

Fig. 5 schematisch in Schnittansicht einen Ausschnitt eines Gasturbinentriebwerks, der einen Fan und ein im Nebenstromkanal angeordnetes Ausgangsleitrad mit verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln umfasst;

Fig. 6 einen Schnitt durch eine Leitschaufel des Ausgangsleitrads der **Fig. 5** entlang der Linie A-A der **Fig. 5**, wobei in einer ersten Stellung ein Teillastbetrieb mit geschlossenen Leitschaufeln dargestellt ist;

Fig. 7 einen Schnitt durch eine Leitschaufel des Ausgangsleitrads der **Fig. 5** entlang der Linie A-A der **Fig. 5**, wobei in einer zweiten Stellung ein Teillastbetrieb mit geöffneten Leitschaufeln dargestellt ist;

Fig. 8 einen Schnitt durch eine Leitschaufel des Ausgangsleitrads der **Fig. 5** entlang der Linie A-A der **Fig. 5**, wobei in einer dritten Stellung ein Windmilling-Betrieb mit geschlossenen Leitschaufeln dargestellt ist;

Fig. 9 mehrere Leitschaufeln des Ausgangsleitrads in einer Stellung gemäß der **Fig. 8**, wobei die Leitschaufeln den Nebenstromkanal blockieren;

Fig. 10 das Gasturbinentriebwerk der **Fig. 5**, wobei ein vergrößerter Massenstrom durch das Kerntriebwerk bei blockiertem Nebenstromkanal im Windmilling-Betrieb dargestellt ist;

Fig. 11 einen Schnitt durch eine Leitschaufel des Ausgangsleitrads der **Fig. 5** entlang der Linie A-A der **Fig. 5**, wobei in einer fünften Stellung ein Windmilling-Betrieb mit geöffneten Leitschaufeln dargestellt ist;

Fig. 12 in ausgerollter Darstellung in Strömungsrichtung hintereinander Schaufeln des Fans, Schaufeln des Ausgangsleitrads und im Nebenstromkanal angeordnete Komponenten; und

Fig. 13 ein Ausführungsbeispiel für im Nebenstromkanal stromabwärts des Ausgangsleitrads angeordnete Komponenten, bei denen es sich um Ventile zum Einlass von Kühlluft aus dem Kernstromkanal in den Nebenstromkanal und um Öffnungen zum Abführen von Kühlluft aus dem Nebenstromkanal zur Turbine des Gasturbinentriebwerks handelt.

[0066] **Fig. 1** stellt ein Gasturbinentriebwerk **10** mit einer Hauptdrehachse **9** dar. Das Triebwerk **10** umfasst einen Lufteinlass **12** und ein Schubgebläse bzw. Fan **23**, das zwei Luftströme erzeugt: einen Kernluftstrom **A** und einen Bypassluftstrom **B**. Das Gasturbinentriebwerk **10** umfasst einen Kern **11**, der den Kernluftstrom **A** aufnimmt. Der Triebwerkskern **11** umfasst in Axialströmungsreihenfolge einen Niederdruckverdichter **14**, einen Hochdruckverdichter **15**, eine Verbrennungseinrichtung **16**, eine Hochdruckturbine **17**, eine Niederdruckturbine **19** und eine Kernschubdüse **20**. Eine Triebwerksgondel **21** umgibt das Gasturbinentriebwerk **10** und definiert einen Bypasskanal **22** und eine Bypassschubdüse **18**. Der Bypassluftstrom **B** strömt durch den Bypasskanal **22**. Das Gebläse **23** ist über eine Welle **26** und ein Epizykloidengetriebe **30** an der Niederdruckturbine **19** angebracht und wird durch diese angetrieben.

[0067] Im Gebrauch wird der Kernluftstrom **A** durch den Niederdruckverdichter **14** beschleunigt und verdichtet und in den Hochdruckverdichter **15** geleitet, wo eine weitere Verdichtung erfolgt. Die aus dem Hochdruckverdichter **15** ausgestoßene verdichtete Luft wird in die Verbrennungseinrichtung **16** geleitet, wo sie mit Kraftstoff vermischt wird und das Gemisch verbrannt wird. Die resultierenden heißen Verbrennungsprodukte breiten sich dann durch die Hochdruck- und die Niederdruckturbine **17**, **19** aus und treiben diese dadurch an, bevor sie zur Bereitstellung einer gewissen Schubkraft durch die Düse **20** ausgestoßen werden. Die Hochdruckturbine **17** treibt den Hochdruckverdichter **15** durch eine geeignete Verbindungswelle **27** an. Das Gebläse **23** stellt allgemein den Hauptteil der Schubkraft bereit. Das Epizykloidengetriebe **30** ist ein Untersetzungsgetriebe.

[0068] Eine beispielhafte Anordnung für ein Getriebegebläse-Gasturbinentriebwerk **10** wird in **Fig. 2** gezeigt. Die Niederdruckturbine **19** (siehe **Fig. 1**) treibt die Welle **26** an, die mit einem Sonnenrad **28** der Epizykloidengetriebeanordnung **30** gekoppelt ist. Mehrere Planetenräder **32**, die durch einen Planetenträger **34** miteinander gekoppelt sind, befinden sich von dem Sonnenrad **28** radial außen und kämmen damit. Der Planetenträger **34** beschränkt die Planetenräder **32** darauf, synchron um das Sonnenrad **28** zu

kreisen, während er ermöglicht, dass sich jedes Planetenrad **32** um seine eigene Achse drehen kann. Der Planetenträger **34** ist über Gestänge **36** mit dem Gebläse **23** dahingehend gekoppelt, seine Drehung um die Triebwerksachse **9** anzutreiben. Ein Außenrad oder Hohlrad **38**, das über Gestänge **40** mit einer stationären Stützstruktur **24** gekoppelt ist, befindet sich von den Planetenrädern **32** radial außen und kämmt damit.

[0069] Es wird angemerkt, dass die Begriffe „Niederdruckturbine“ und „Niederdruckverdichter“, so wie sie hier verwendet werden, so aufgefasst werden können, dass sie die Turbinenstufe mit dem niedrigsten Druck bzw. die Verdichterstufe mit dem niedrigsten Druck (d. h. dass sie nicht das Gebläse **23** umfassen) und/oder die Turbinen- und Verdichterstufe, die durch die Verbindungswelle **26** mit der niedrigsten Drehzahl in dem Triebwerk (d. h. dass sie nicht die Getriebeausgangswelle, die das Gebläse **23** antreibt, umfasst) miteinander verbunden sind, bedeuten. In einigen Schriften können die „Niederdruckturbine“ und der „Niederdruckverdichter“, auf die hier Bezug genommen wird, alternativ dazu als die „Mitteldruckturbine“ und „Mitteldruckverdichter“ bekannt sein. Bei der Verwendung derartiger alternativer Nomenklatur kann das Gebläse **23** als eine erste Verdichtungsstufe oder Verdichtungsstufe mit dem niedrigsten Druck bezeichnet werden.

[0070] Das Epizykloidengetriebe **30** wird in **Fig. 3** beispielhaft genauer gezeigt. Das Sonnenrad **28**, die Planetenräder **32** und das Hohlrad **38** umfassen jeweils Zähne um ihre Peripherie zum Kämmen mit den anderen Zahnrädern. Jedoch werden der Übersichtlichkeit halber lediglich beispielhafte Abschnitte der Zähne in **Fig. 3** dargestellt. Obgleich vier Planetenräder **32** dargestellt werden, liegt für den Fachmann auf der Hand, dass innerhalb des Schutzzumfangs der beanspruchten Erfindung mehr oder weniger Planetenräder **32** vorgesehen sein können. Praktische Anwendungen eines Epizykloidengetriebes **30** umfassen allgemein mindestens drei Planetenräder **32**.

[0071] Das in **Fig. 2** und **Fig. 3** beispielhaft dargestellte Epizykloidengetriebe **30** ist ein Planetengetriebe, bei dem der Planetenträger **34** über Gestänge **36** mit einer Ausgangswelle gekoppelt ist, wobei das Hohlrad **38** festgelegt ist. Jedoch kann eine beliebige andere geeignete Art von Epizykloidengetriebe **30** verwendet werden. Als ein weiteres Beispiel kann das Epizykloidengetriebe **30** eine Sternanordnung sein, bei der der Planetenträger **34** festgelegt gehalten wird, wobei gestattet wird, dass sich das Hohlrad (oder Außenrad) **38** dreht. Bei solch einer Anordnung wird das Gebläse **23** von dem Hohlrad **38** angetrieben. Als ein weiteres alternatives Beispiel kann das Getriebe **30** ein Differenzialgetriebe sein, bei dem gestattet wird, dass sich sowohl das Hohlrad **38** als auch der Planetenträger **34** drehen.

[0072] Es versteht sich, dass die in **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigte Anordnung lediglich beispielhaft ist und verschiedene Alternativen in dem Schutzzumfang der vorliegenden Offenbarung liegen. Lediglich beispielhaft kann eine beliebige geeignete Anordnung zur Positionierung des Getriebes **30** in dem Triebwerk **10** und/oder zur Verbindung des Getriebes **30** mit dem Triebwerk **10** verwendet werden. Als ein weiteres Beispiel können die Verbindungen (z. B. die Gestänge **36, 40** in dem Beispiel von **Fig. 2**) zwischen dem Getriebe **30** und anderen Teilen des Triebwerks **10** (wie z. B. der Eingangswelle **26**, der Ausgangswelle und der festgelegten Struktur **24**) einen gewissen Grad an Steifigkeit oder Flexibilität aufweisen. Als ein weiteres Beispiel kann eine beliebige geeignete Anordnung der Lager zwischen rotierenden und stationären Teilen des Triebwerks (beispielsweise zwischen der Eingangs- und der Ausgangswelle des Getriebes und den festgelegten Strukturen, wie z. B. dem Getriebegehäuse) verwendet werden, und die Offenbarung ist nicht auf die beispielhafte Anordnung von **Fig. 2** beschränkt. Beispielsweise ist für den Fachmann ohne Weiteres erkenntlich, dass sich die Anordnung von Ausgang und Stützgestängen und Lagerpositionierungen bei einer Sternanordnung (oben beschrieben) des Getriebes **30** in der Regel von jenen, die beispielhaft in **Fig. 2** gezeigt werden, unterscheiden würden.

[0073] Entsprechend dehnt sich die vorliegende Offenbarung auf ein Gasturbinentriebwerk mit einer beliebigen Anordnung der Getriebearten (beispielsweise sternförmig oder planetenartig), Stützstrukturen, Eingangs- und Ausgangswellenanordnung und Lagerpositionierungen aus.

[0074] Optional kann das Getriebe Neben- und/oder alternative Komponenten (z. B. den Mitteldruckverdichter und/oder einen Nachverdichter) antreiben.

[0075] Andere Gasturbinentriebwerke, bei denen die vorliegende Offenbarung Anwendung finden kann, können alternative Konfigurationen aufweisen. Beispielsweise können derartige Triebwerke eine alternative Anzahl an Verdichtern und/oder Turbinen und/oder eine alternative Anzahl an Verbindungswellen aufweisen. Als ein weiteres Beispiel weist das in **Fig. 1** gezeigte Gasturbinentriebwerk eine Teilungsstromdüse **20, 22** auf, was bedeutet, dass der Strom durch den Bypasskanal **22** seine eigene Düse aufweist, die von der Triebwerkskerndüse **20** separat und davon radial außen ist. Jedoch ist dies nicht einschränkend und ein beliebiger Aspekt der vorliegenden Offenbarung kann auch auf Triebwerke zutreffen, bei denen der Strom durch den Bypasskanal **22** und der Strom durch den Kern **11** vor (oder stromaufwärts) einer einzigen Düse, die als eine Mischstromdüse bezeichnet werden kann, vermischt oder kombiniert werden. Eine oder beide Düsen (ob Misch- oder

Teilungsstrom) kann einen festgelegten oder variablen Bereich aufweisen.

[0076] Obgleich sich das beschriebene Beispiel auf ein Turbogebälsetriebwerk bezieht, kann die Offenbarung beispielsweise bei einer beliebigen Art von Gasturbinentriebwerk, wie z. B. bei einem Open-Rotor- (bei dem die Gebläsestufe nicht von einer Triebwerksgondel umgeben wird) oder einem Turboprop-Triebwerk, angewendet werden. Bei einigen Anordnungen umfasst das Gasturbinentriebwerk **10** möglicherweise kein Getriebe **30**.

[0077] Die Geometrie des Gasturbinentriebwerks **10** und Komponenten davon wird bzw. werden durch ein herkömmliches Achsensystem definiert, das eine axiale Richtung (die auf die Drehachse **9** ausgerichtet ist), eine radiale Richtung (in der Richtung von unten nach oben in **Fig. 1**) und eine Umfangsrichtung (senkrecht zu der Ansicht in **Fig. 1**) umfasst. Die axiale, die radiale und die Umfangsrichtung verlaufen senkrecht zueinander.

[0078] Im Kontext der vorliegenden Erfindung ist die Ausgestaltung eines im Bypasskanal bzw. Nebenstromkanal angeordneten Fan-Ausgangsleittrads von Bedeutung.

[0079] Zunächst wird dabei anhand der **Fig. 4** der grundlegende Aufbau eines Schaufelgitters beschrieben. Das Schaufelgitter ist in üblicher Darstellung im Meridianschnitt und abgerollt dargestellt. Es umfasst eine Mehrzahl von Schaufeln **S**, die jeweils eine Vorderkante **S_{VK}** und eine Hinterkante **S_{HK}** aufweisen. Die Vorderkanten **S_{VK}** liegen auf einer gedachten Linie **L₁**, die Hinterkanten **S_{HK}** liegen auf einer gedachten Linie **L₂**. Die Linien **L₁** und **L₂** verlaufen parallel. Die Schaufeln **S** umfassen des Weiteren jeweils eine Saugseite **SS** und eine Druckseite **DS**. Ihre maximale Profildicke ist mit **d** angegeben.

[0080] Das Verdichtergitter weist eine Gitterteilung **t** und eine Profilhöhe **s** mit einer Profilhöhenlänge **s_k** auf. Die Profilhöhe **s** ist die Verbindungslinie zwischen der Vorderkante **S_{VK}** und der Hinterkante **S_{HK}** des Profils. Zwischen der Profilhöhe **s** und der Senkrechten auf der Linie **L₁** (wobei die Senkrechte zumindest näherungsweise der durch die Maschinenachse definierten Richtung entspricht) ist der Schaufel-Staffelungswinkel (im folgenden Staffelungswinkel) **α_s** gebildet. Der Staffelungswinkel **α_s** gibt die Neigung der Schaufeln **S** an.

[0081] Die Schaufeln **S** weisen eine Skelettlinie **SL** auf, die auch als Profilmittellinie bezeichnet wird. Diese ist definiert durch die Verbindungslinie der in das Profil einbeschriebenen Kreismittelpunkte. Die Tangente an die Skelettlinie **SL** an der Vorderkante ist mit **T₁** bezeichnet. Die Tangente an die Skelettlinie **SL** an der Hinterkante ist mit **T₂** bezeichnet. Der Winkel,

unter dem sich die beiden Tangenten **T₁**, **T₂** schneiden, ist der Schaufelwölbungswinkel **λ**. Die Zuströmrichtung, mit der Gas auf das Gitter zuströmt, ist mit **Z** und die Abströmrichtung, mit der Gas vom Gitter weg strömt, ist mit **D** gekennzeichnet. Der Inzidenzwinkel **β₁** ist definiert als der Winkel zwischen der Tangenten **T₁** und der Zuströmrichtung **Z**. Der Deviationswinkel **β₂** ist definiert als der Winkel zwischen der Tangenten **T₂** und der Abströmrichtung **A**.

[0082] Weiter ist der Metalleintrittswinkel **γ₁** definiert als der Winkel zwischen der Tangenten **T₁** an die Skelettlinie **SL** und der Senkrechten auf der Linie **L₁**. Der Metallaustrittswinkel **γ₂** ist definiert als der Winkel zwischen der Tangenten **T₂** an die Skelettlinie **SL** und der Senkrechten auf der Linie **L₂** (die bei den nachfolgend betrachteten Ausführungsbeispielen der Erfindung gemäß den **Fig. 5-13** gleich der axialen Richtung ist). Der Metalleintrittswinkel **γ₁** wird auch als Schaufeleintrittswinkel oder Blatteintrittswinkel und der Metallaustrittswinkel **γ₂** auch als Schaufelaustrittswinkel oder Blattaustrittswinkel bezeichnet. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden primär der Metalleintrittswinkel **γ₁** und der Metallaustrittswinkel **γ₂** betrachtet.

[0083] Es wird darauf hingewiesen, dass der Metalleintrittswinkel **γ₁** und der Metallaustrittswinkel **γ₂** sich beide ändern, wenn der Staffelungswinkel **α_s** geändert wird, da eine Änderung des Staffelungswinkels **α_s** durch die damit verbundene Neigungsverstellung der Schaufeln die Ausrichtung der Tangenten **T₁**, **T₂** verändert. Typischerweise wird bei verstellbaren Leitschaufeln durch einen Verstellmechanismus, der beispielsweise einen Verstellring umfasst, der Staffelungswinkel der Leitschaufeln geändert, was automatisch auch zu einer Änderung des Metalleintrittswinkels und des Metallaustrittswinkels führt.

[0084] Die **Fig. 5** zeigt den relevanten Abschnitt eines Gasturbinentriebwerks. Es ist ein Fan **23** dargestellt, hinter dem sich der Strömungskanal in einen Nebenstromkanal **22** und einen Kernstromkanal **25** aufteilt. Der Nebenstromkanal **22** umfasst eine radial innere Strömungspfadbegrenzung **221** und eine radial äußere Strömungspfadbegrenzung **222**. Die Aufteilung erfolgt hinter einem Splitter **29**. Im Nebenstromkanal **22** ist ein Ausgangsleitrad **4** angeordnet, das eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten und sich im Wesentlichen in radialer Richtung erstreckenden Leitschaufeln **40** umfasst. Die Leitschaufel **40** umfassen jeweils eine Vorderkante **41** und eine Hinterkante **42**.

[0085] Die Leitschaufeln **40** sind jeweils verschwenkbar ausgebildet. Zur Verstellung der Leitschaufeln **40** ist ein schematisch dargestellter Verstellmechanismus **5** vorgesehen. Bei diesem handelt es sich beispielsweise um einen Verstellring oder um eine Vielzahl individueller Einstelleinrichtungen. Die

Verstellung der Leitschaufeln **40** kann grundsätzlich in gleicher Weise wie die Verstellung von Leitschaufeln eines Verdichters im Kernstromkanal **25** erfolgen.

[0086] Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass die Leitschaufeln **40** an ihrem radial äußeren Ende und an ihrem radial inneren Ende jeweils mit einer kreisförmigen Plattform **48**, **49** verbunden sind, die jeweils einen Drehteller bildet und mit einer nicht dargestellten Spindel verbunden ist, die über den Verstellmechanismus **5** drehbar ist, so dass eine Verschwenkbarkeit der Leitschaufeln **40** gegeben ist. Dabei kann vorgesehen sein, dass die Leitschaufeln **40** im Bereich ihrer Hinterkante radial angrenzend an die äußere Strömungspfadberandung **222** und/oder angrenzend an die radial innere Strömungspfadberandung **221** Rückschnitte ausbilden (nicht gesondert dargestellt), die sicherstellen, dass die Leitschaufeln **30** an ihrem axial hinteren Bereich jeweils einen Teilspalt zur angrenzenden Strömungspfadberandung **221**, **222** ausbilden.

[0087] Die Fig. 6 zeigt zwei verschiedene Schaufelstellungen **S1** und **S2** der Leitschaufeln **40** des Ausgangsleittrads **4**. Die Leitschaufeln **40** weisen eine Vorderkante **41**, eine Hinterkante **42**, eine Saugseite **43** und eine Druckseite **44** auf. Sie sind um einen Drehpunkt **D** verschwenkbar, der durch die Drehteller gegeben ist, wobei der Drehteller **48** der Fig. 5 eingezeichnet ist.

[0088] Die Schaufelstellung **S1** entspricht einer nominalen Stellung im Volllastbetrieb, die mit einem maximalen Schub im Nebenstromkanal einhergeht. Der Metalleintrittswinkel bei der Schaufelstellung **S1** ist mit α_1 angegeben. Die Schaufelstellung **S1** führt dazu, dass die unter dem Metalleintrittswinkel α_1 einströmende Luft in axialer Richtung **X** umgelenkt wird. Der Metallaustrittswinkel liegt bei der Schaufelstellung **S1** bei Null oder nahe bei Null.

[0089] Die gegenüber der Schaufelstellung **S1** verdrehte Schaufelstellung **S2** nimmt das Gasturbinentriebwerk im Teillastbetrieb ein. Durch die Verschwenkung der Leitschaufeln ist nun ein Metallaustrittswinkel α_2 gegeben, der größer als Null ist. So ist vorgesehen, dass der Metallaustrittswinkel α_2 größer oder gleich 60° ist. Dies stellt eine Abströmung mit einem Winkel größer oder gleich 60° sicher, die mindestens zu einer Halbierung des Schubs führt.

[0090] In der Schaufelstellung **S2** liegt durch das Verschwenken der Leitschaufeln **40** in eine zumindest teilweise geschlossene Stellung ein gegenüber dem Volllastbetrieb vergrößerter Druckverlust am Ausgangsleitrad vor. Dazu tragen zwei Effekte bei.

[0091] Durch das weitgehende oder sogar vollständige Schließen des Ausgangsleittrads wird zum einen

ein leicht vergrößerter Druckverlust und ein stark vergrößerter Metallaustrittswinkel α_2 bereitgestellt, wobei der vergrößerte Metallaustrittswinkel α_2 weitere Druckverluste im Nebenstromkanal nach sich zieht. Daraus resultiert ein geringerer Totaldruck in der Düse und damit geringere Geschwindigkeiten des Luftstroms im Nebenstromkanal.

[0092] Dadurch, dass die Strömung nicht mehr axial gerichtet ist, wirkt zum anderen nur die mit dem Winkel $\cos \alpha_2$ multiplizierte Komponente auf den Schub. So ist im Teillastbetrieb der Schub abhängig von $\cos \alpha_2$. Daher hat ein vergrößerter Metallaustrittswinkel α_2 einen um $\cos \alpha_2$ geringeren Schub zur Folge. Beide Effekte verringern den resultierenden Schub, so dass das Kerntriebwerk auf höheren Laststufen laufen kann.

[0093] Die Fig. 7 zeigt neben der nominalen Schaufelstellung **S1**, zu der auf die Ausführungen zu Fig. 6 hingewiesen wird, eine weitere Schaufelstellung **S3**, die im Teillastbetrieb eingenommen werden kann. In der Schaufelstellung **S3** sind die Leitschaufeln **40** bzw. das Leitrad **4** geöffnet. Der Metallaustrittswinkel $\cos \alpha_2$ ist kleiner oder gleich -20° . Die Schaufeln **40** sind gewissermaßen überweit geöffnet. Hierdurch reißt sowohl an der Vorderkante als auch an der Hinterkante die Strömung saugseitig ab, was durch die Strömungsabrissse **Z3**, **Z4** schematisch angedeutet ist. Dies ist mit einer reduzierten Geschwindigkeit hinter dem Ausgangsleitrad verbunden.

[0094] Der Effekt ist wiederum ein gegenüber dem Volllastbetrieb vergrößerter Druckverlust am Ausgangsleitrad **4**. Dabei liegt ein stark vergrößerter Druckverlust in Teillast durch den Strömungsabriss vor.

[0095] Ob im konkreten Einsatzfall eine Schaufelstellung **S2** gemäß der Fig. 6 oder eine Schaufelstellung **S3** gemäß der Fig. 7 im Teillastbetrieb erfolgt, hängt von weiteren Parametern wie beispielsweise dem Vibrationsverhalten des Ausgangsleittrads und/oder den Pumpgrenzen und/oder dem Flutterabstand der Arbeitslinie des Fans ab.

[0096] Die Fig. 8 zeigt neben der nominalen Stellung **S1** eine Schaufelstellung **S4**, die Leitschaufeln **40** im Windmilling-Betrieb einnehmen. Im Windmilling-Betrieb ist das Triebwerk abgeschaltet und dreht dieses nur durch den Windstrom im Flug, wobei der Fan als Turbine wirkt. Dabei erfolgt ein Strömungsabriss **Z7** in der nominalen Stellung. Gemäß der Schaufelstellung **S4** sind die Leitschaufeln **40** im Windmilling-Betrieb in eine zumindest teilweise geschlossene Stellung verschwenkt, in der der Metallaustrittswinkel α_2 größer oder gleich 60° beträgt. Es kommt dadurch zu deutlich vergrößerten Druckverlusten im Nebenstrom.

[0097] Die **Fig. 9** zeigt mehrere Leitschaufeln **40**, die sich in einer vollständig geschlossenen Stellung **S4** befinden. Dies führt dazu, dass der gesamte Nebenstrom blockiert ist. Um dies zu erreichen, müssen die Leitschaufeln **40** derart geformt sein, dass sich eine Überlappung der Leitschaufeln im voll geschlossenen Zustand einstellt. Hierzu ist vorgesehen, dass das Verhältnis von Gitterteilung t zu Profilhöhenlänge s_k über die gesamte Schaufelhöhe kleiner als 1 ist. Zur Definition der Gitterteilung und der Profilhöhenlänge wird dabei Bezug auf die Ausführungen zur **Fig. 4** genommen.

[0098] Dabei wird darauf hingewiesen, dass ebenso wie bei variablen Leitschaufeln im Verdichter auf Rückschnitte der Leitschaufeln zu der jeweiligen Strömungspfadberandung geachtet werden muss, die die Drehbarkeit der Leitschaufeln garantieren. Da die Radien im Nebenstromkanal jedoch deutlich größer sind als im Kernstromkanal, lassen sich die insofern entstehenden Spalte verlustarm und klein gestalten.

[0099] Die **Fig. 10** verdeutlicht den Effekt einer Blockierung des Nebenstromkanals **22**. Die vom Triebwerk aufgefangene Stromröhre verteilt sich grundsätzlich nach dem Widerstandsprinzip auf den Nebenstromkanal **22** und den Kernstromkanal **25**. Vergrößert sich der Widerstand im Nebenstromkanal **22** oder ist dieser sogar blockiert, erhöht sich der Massenstrom im Kernstromkanal **25**. So wird die nabennahere Strömung **C2**, die an sich dafür vorgesehen ist, durch den Nebenstromkanal **22** zu strömen, verstärkt in den Kernstromkanal **25** geleitet. Die nabennahe Strömung **C1** strömt unverändert ebenfalls in den Kernstromkanal **25**. Der Kernmassenstrom durch den Kernstromkanal **25** wird somit vergrößert, was zu einer Erhöhung der Drehzahl der Hochdruckwelle führt.

[0100] Hierdurch wird ein verbessertes Startverhalten des Triebwerks im Windmilling erreicht. Die daraus resultierenden günstigen Wiederstartbedingungen ermöglichen es, dass Gasturbinentriebwerk derart auszulegen, dass der Radialspalt zwischen Laufschaufel und Strömungspfadbegrenzung in der Hochdruckturbine des Gasturbinentriebwerks reduziert werden kann. Dies kann zu einer erheblichen Reduktion des spezifischen Kraftstoffverbrauchs um über 1% führen.

[0101] Die **Fig. 11** zeigt eine weitere Schaufelstellung **S5** im Teillastbetrieb, wobei wiederum ebenfalls die nominale Stellung **S1** dargestellt ist. Bei der Variante der **Fig. 11** sind die Leitschaufeln **40** im Windmilling-Betrieb in eine geöffnete Stellung verschwenkt, in der der Metallaustrittswinkel α_2 kleiner oder gleich -20° ist. Im Windmilling-Betrieb wird hierdurch der Druckverlust am Ausgangsleitrad verringert, da die Schaufeln derart in den Luftstrom ge-

stellt werden, dass der Strömungsabriss **Z7** vermieden wird. Hierdurch ergeben sich eine größere aufgefangene Stromröhre und eine größere Drehzahl der Niederdruckwelle. Dies wiederum führt zu einem gesteigerten nabennahen Fandruckverhältnis, welches sich ebenfalls günstig auf das Startverhalten im Windmilling-Betrieb auswirkt.

[0102] Die **Fig. 12** zeigt schematisch und in abgewickelter Darstellung Fanschaufeln **230** des Fans **23**, eine Mehrzahl von Leitschaufeln **40** des Ausgangsleittrads **4** sowie den sich daran anschließenden Nebenstromkanal, in dem eine Mehrzahl von Komponenten bzw. Einbauten **61**, **62** ausgebildet sind. Dabei ist vorgesehen, dass die Leitschaufeln **40** individuell verstellbar sind. Hierzu sind den Leitschaufeln **40** individuelle Einstelleinrichtungen **50** zugeordnet, wie schematisch dargestellt ist. Bei den individuellen Einstelleinrichtungen **50** handelt es sich beispielsweise um Elektromotoren.

[0103] Bei den im Nebenstromkanal **22** stromabwärts des Ausgangsleittrads **4** ausgebildeten Einbauten **61** handelt es sich beispielsweise um Ventile, über die Kühlluft aus dem Kernstromkanal **25** in den Nebenstromkanal geleitet wird. Bei den Einbauten **62** handelt es sich beispielsweise um Kühlluftkanäle, über die Kühlluft zur Spaltkontrolle der Hochdruckturbine des Gasturbinentriebwerks zugeführt wird. Dies ist in der **Fig. 13** beispielhaft illustriert.

[0104] Durch die individuelle Einstellbarkeit der einzelnen Leitschaufeln **40** und des jeweiligen Metallaustrittswinkels ist es möglich, den Einfluss solcher Einbauten **61**, **62** zu berücksichtigen und das Druckfeld hinter dem Ausgangsleitrad **4** insgesamt zu homogenisieren. Dabei kann die Stromaufwirkung solcher Einbauten **61**, **62** auf den Fan und dessen Stabilitätsverhalten positiv beeinflusst werden.

[0105] Dabei können verschiedene Verstellgesetze entwickelt werden, wie in Abhängigkeit von der Laststufe und den variablen Einbauten im Nebenstromkanal **25** die einzelnen Leitschaufeln **40** einzustellen sind. Es lassen sich Asymmetrien im Druckfeld und daraus resultierende negative Folgen für die Stabilität und den Wirkungsgrad des Fans positiv beeinflussen.

[0106] Ebenso ist es möglich, durch die individuelle Einstellbarkeit der einzelnen Leitschaufeln **40** gezielte Druckstörungen in den Nebenstromkanal einzubringen. Dabei werden einzelne Leitschaufeln stärker verstellt als andere. Durch solche Druckschwingungen lässt sich ein Aufschwingen der Fanschaufeln, zum Beispiel bei Flutter, stören, wodurch ein sicherer Betrieb gewährleistet werden kann.

[0107] Individuell verstellbare Leitschaufeln **40** können auch zur Realisierung der Schaufelstellungen

S2, S3, S4 und **S5** gemäß den **Fig. 6-8** und **Fig. 11** eingesetzt werden.

[0108] Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist und verschiedene Modifikationen und Verbesserungen vorgenommen werden können, ohne von den hier beschriebenen Konzepten abzuweichen. Beispielsweise sind Form und Anzahl der beschriebenen Leitschaufeln und die erwähnten Verstellmechanismen lediglich beispielhaft zu verstehen.

[0109] Es wird hingewiesen, dass beliebige der beschriebenen Merkmale separat oder in Kombination mit beliebigen anderen Merkmalen eingesetzt werden können, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen. Die Offenbarung dehnt sich auf alle Kombinationen und Unterkombinationen eines oder mehrerer Merkmale aus, die hier beschrieben werden und umfasst diese. Sofern Bereiche definiert sind, so umfassen diese sämtliche Werte innerhalb dieser Bereiche sowie sämtliche Teilbereiche, die in einen Bereich fallen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 5259187 [0005]

Patentansprüche

1. Gasturbinentriebwerk, das aufweist:

- ein Kerntriebwerk (11),
- einen Fan (23), der stromaufwärts des Kerntriebwerks (11) positioniert ist,
- einen Kernstromkanal (25), der durch das Kerntriebwerk (11) führt,
- einen Nebenstromkanal (22), der an dem Kerntriebwerk (11) vorbei führt,
- ein stromabwärts des (23) Fans im Nebenstromkanal (22) angeordnetes Ausgangsleitrad (4) mit einer Mehrzahl von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln (40), die sich in radialer Richtung im Nebenstromkanal erstrecken, wobei die Leitschaufeln (40) einen Metallaustrittswinkel (α_2) aufweisen, der sich bei einer Verstellung der Leitschaufeln (40) ändert,
- einen Verstellmechanismus (5) zur Verstellung der Leitschaufeln (40), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verstellmechanismus (5) dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln (40) im Windmilling-Betrieb in eine zumindest teilweise geschlossene Stellung zu verschwenken, in der der Metallaustrittswinkel (α_2) mindestens 60° beträgt.

2. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Windmilling-Betrieb die Leitschaufeln (40) in eine vollständig geschlossene Stellung verschwenkt sind, in der die Leitschaufeln (40) den Luftstrom durch den Nebenstromkanal (22) blockieren.

3. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis von Gitterteilung (t) zu Profilhöhe (s_k) der Leitschaufeln (40) des Ausgangsleitrads (4) über die gesamte Schaufelhöhe kleiner als 1 ist.

4. Gasturbinentriebwerk, das aufweist:

- ein Kerntriebwerk (11),
- einen Fan (23), der stromaufwärts des Kerntriebwerks (11) positioniert ist,
- einen Kernstromkanal (25), der durch das Kerntriebwerk (11) führt,
- einen Nebenstromkanal (22), der an dem Kerntriebwerk (11) vorbei führt,
- ein stromabwärts des (23) Fans im Nebenstromkanal (22) angeordnetes Ausgangsleitrad (4) mit einer Mehrzahl von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln (40), die sich in radialer Richtung im Nebenstromkanal erstrecken, wobei die Leitschaufeln (40) einen Metallaustrittswinkel α_2 aufweisen, der sich bei einer Verstellung der Leitschaufeln (40) ändert,
- einen Verstellmechanismus (5) zur Verstellung der Leitschaufeln (40), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verstellmechanismus (5) dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln (40) im Windmilling-Betrieb in eine geöffnete Stellung zu verschwenken, in der der Metallaustrittswinkel (α_2) kleiner oder gleich minus 20° ist.

5. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) derart ausgerichtet sind, dass der Druckverlust am Ausgangsleitrad (4) minimal ist.

6. Gasturbinentriebwerk, das aufweist:

- ein Kerntriebwerk (11),
- einen Fan (23), der stromaufwärts des Kerntriebwerks (11) positioniert ist,
- einen Kernstromkanal (25), der durch das Kerntriebwerk (11) führt,
- einen Nebenstromkanal (22), der an dem Kerntriebwerk (11) vorbei führt,
- ein stromabwärts des (23) Fans im Nebenstromkanal (22) angeordnetes Ausgangsleitrad (4) mit einer Mehrzahl von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln (40), die sich in radialer Richtung im Nebenstromkanal erstrecken, wobei die Leitschaufeln (40) einen Metallaustrittswinkel α_2 aufweisen, der sich bei einer Verstellung der Leitschaufeln (40) ändert,
- einen Verstellmechanismus (5) zur Verstellung der Leitschaufeln (40), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verstellmechanismus (5) dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb in eine teilweise geschlossene Stellung zu verschwenken, in der ein gegenüber dem Vollastbetrieb vergrößerter Druckverlust am Ausgangsleitrad (4) vorliegt.

7. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb derart verschwenkt sind, dass der Metallaustrittswinkel (α_2) mindestens 60° beträgt.

8. Gasturbinentriebwerk, das aufweist:

- ein Kerntriebwerk (11),
- einen Fan (23), der stromaufwärts des Kerntriebwerks (11) positioniert ist,
- einen Kernstromkanal (25), der durch das Kerntriebwerk (11) führt,
- einen Nebenstromkanal (22), der an dem Kerntriebwerk (11) vorbei führt,
- ein stromabwärts des (23) Fans im Nebenstromkanal (22) angeordnetes Ausgangsleitrad (4) mit einer Mehrzahl von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln (40), die sich in radialer Richtung im Nebenstromkanal erstrecken, wobei die Leitschaufeln (40) einen Metallaustrittswinkel α_2 aufweisen, der sich bei einer Verstellung der Leitschaufeln (40) ändert,
- einen Verstellmechanismus (5) zur Verstellung der Leitschaufeln (40), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verstellmechanismus (5) dazu vorgesehen und ausgebildet ist, die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb in eine geöffnete Stellung zu verschwenken, in der der Metallaustrittswinkel (α_2) kleiner oder gleich minus 20° ist.

9. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb derart ausgerichtet sind, dass so-

wohl an der Vorderkante (41) der Schaufeln als auch an der Hinterkante (42) der Schaufeln (40) ein saugseitiger Strömungsabriss erfolgt.

10. Gasturbinentriebwerk, das aufweist:

- ein Kerntriebwerk (11),
- einen Fan (23), der stromaufwärts des Kerntriebwerks (11) positioniert ist,
- einen Kernstromkanal (25), der durch das Kerntriebwerk (11) führt,
- einen Nebenstromkanal (22), der an dem Kerntriebwerk (11) vorbei führt,
- ein stromabwärts des (23) Fans im Nebenstromkanal (22) angeordnetes Ausgangsleitrad (4) mit einer Mehrzahl von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln (40), die sich in radialer Richtung im Nebenstromkanal erstrecken, wobei die Leitschaufeln (40) einen Metallaustrittswinkel α_2 aufweisen, der sich bei einer Verstellung der Leitschaufeln (40) ändert,
- einen Verstellmechanismus (5) zur Verstellung der Leitschaufeln (40), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verstellmechanismus aus einer Mehrzahl individueller Einstelleinrichtungen (50) besteht, wobei die Leitschaufeln (40) über die Einstelleinrichtungen (50) individuell verstellbar sind.

11. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) in Abhängigkeit von Verstellgesetzen individuell eingestellt sind, die eine Verstellung der einzelnen Leitschaufeln in Abhängigkeit von der Laststufe und in Abhängigkeit von Einbauten (61, 62) vornehmen, die stromabwärts des Ausgangsleitrads (4) im Nebenstromkanal (22) angeordnet sind.

12. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) derart individuell eingestellt sind, dass Asymmetrien im Druckfeld hinter dem Ausgangsleitrad (4), die bei einheitlich verstellten Leitschaufeln vorhanden wären, reduziert sind.

13. Gasturbinentriebwerk nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln des Ausgangsleitrads als Tandem-Leitschaufeln ausgebildet sind, die eine stromaufwärtige Leitschaufel und eine stromabwärtige Leitschaufel umfassen, wobei die stromabwärtige Leitschaufel verstellbar ausgebildet und durch den Verstellmechanismus verstellbar ist.

14. Gasturbinentriebwerk nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Triebwerkskern (11) eine Turbine (19), einen Verdichter (14) und eine die Turbine (19) mit dem Verdichter (14) verbindende, als Hohlwelle ausgebildete Turbinenwelle (26) umfasst, und des Weiteren ein Getriebe (30) vorgesehen ist, das einen Eingang von der Turbinenwelle (26) empfängt und Antrieb für den

Fan (23) zum Antreiben des Fans mit einer niedrigeren Drehzahl als die Turbinenwelle (26) abgibt.

15. Verfahren zur Einstellung von verstellbar ausgebildeten Leitschaufeln (40) eines Ausgangsleitrads (4) eines Gasturbinentriebwerks, das stromabwärts eines Fans (23) des Gasturbinentriebwerks im Nebenstromkanal (22) des Gasturbinentriebwerks angeordnet ist, insbesondere zur Einstellung verstellbar ausgebildeter Leitschaufeln in einem Gasturbinentriebwerk gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Leitschaufeln (40) im Windmilling-Betrieb in eine zumindest teilweise geschlossene Stellung verschwenkt werden, in der der Metallaustrittswinkel (α_2) mindestens 60° beträgt, oder
- die Leitschaufeln (40) im Windmilling-Betrieb in eine geöffnete Stellung verschwenkt werden, in der der Metallaustrittswinkel (α_2) kleiner oder gleich minus 20° ist, und/oder
- die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb in eine teilweise geschlossene Stellung verschwenkt werden, in der ein gegenüber dem Vollastbetrieb vergrößerter Druckverlust am Ausgangsleitrad (4) vorliegt, oder
- die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb in eine geöffnete Stellung verschwenkt werden, in der der Metallaustrittswinkel (α_2) kleiner oder gleich minus 20° ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) im Windmilling-Betrieb in eine vollständig geschlossene Stellung verschwenkt werden, in der die Leitschaufeln den Luftstrom durch den Nebenstromkanal blockieren.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb derart verschwenkt werden, dass der Metallaustrittswinkel (α_2) mindestens 60° beträgt.

18. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) im Teillastbetrieb derart verschwenkt werden, dass sowohl an der Vorderkante (41) der Schaufeln als auch an der Hinterkante (42) der Schaufeln (40) ein saugseitiger Strömungsabriss erfolgt.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) individuell verstellt werden.

20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leitschaufeln (40) durch eine individuelle Verstellung den Einfluss von Asymmetrien im Druckfeld, die auf Einbauten (61, 62) im Nebenstromkanal (22) zurückgehen, reduzieren.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

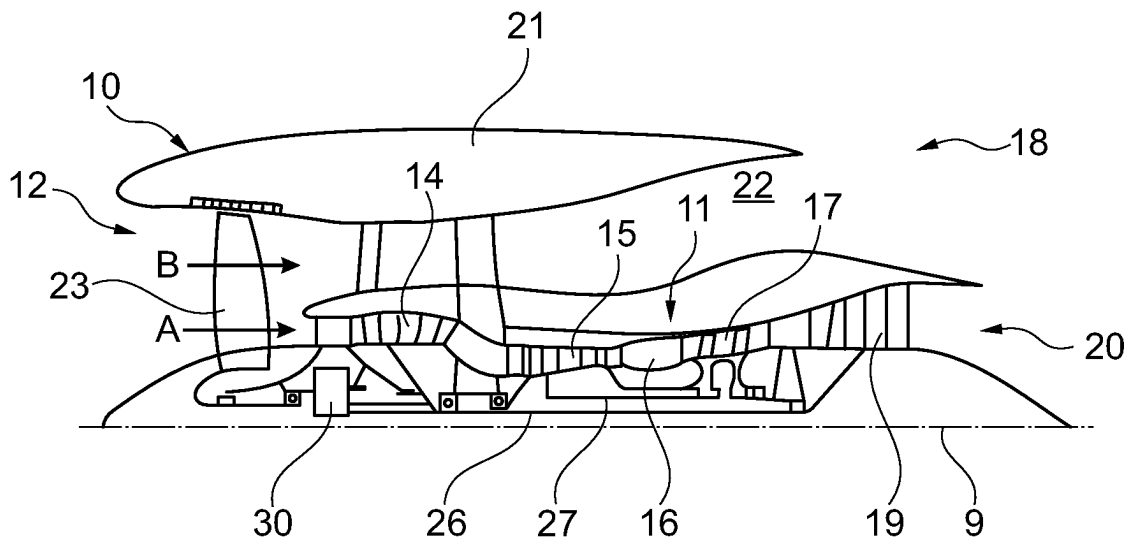


Fig. 1

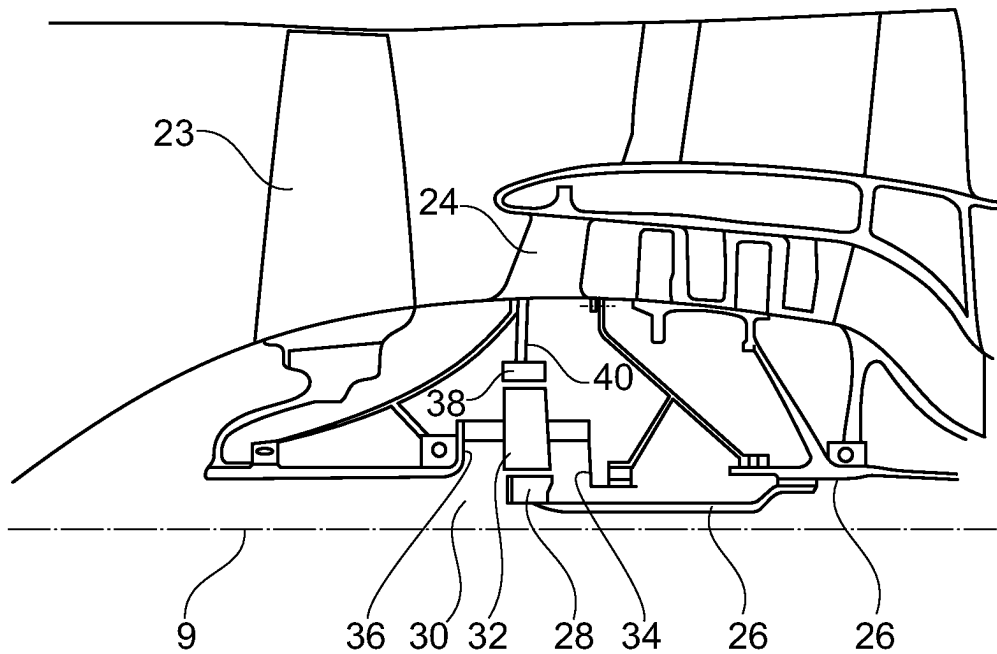


Fig. 2

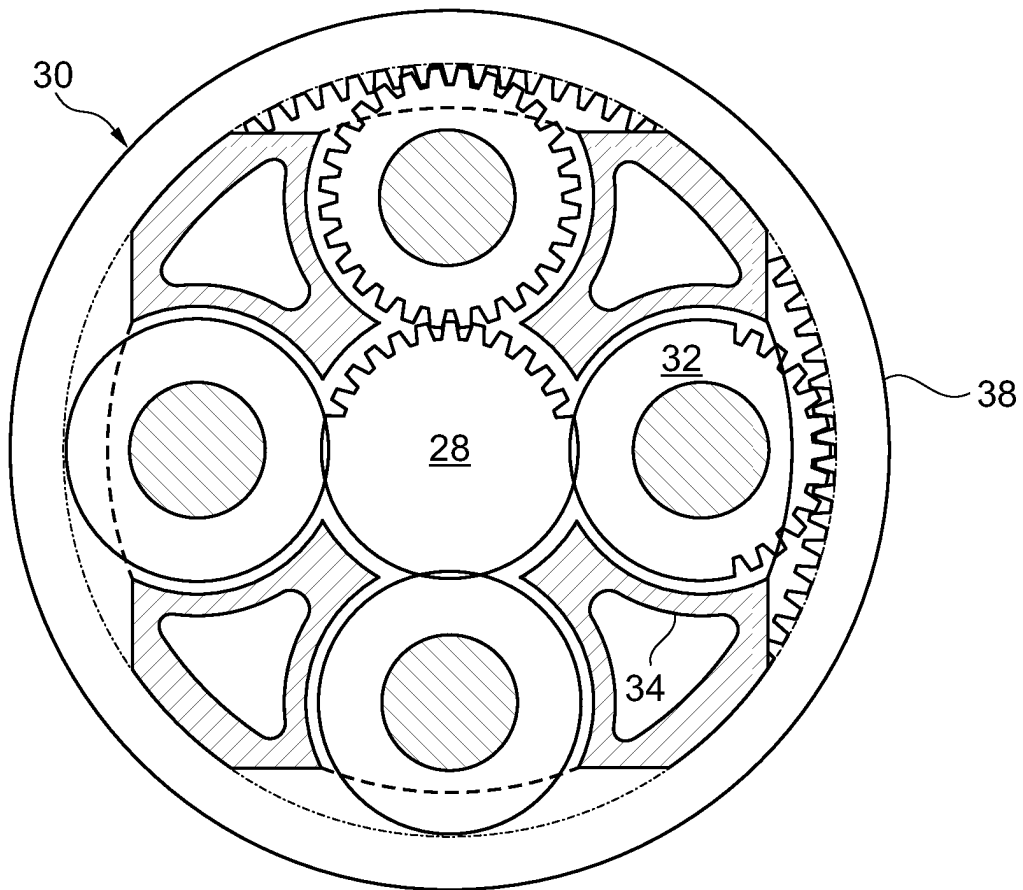


Fig. 3

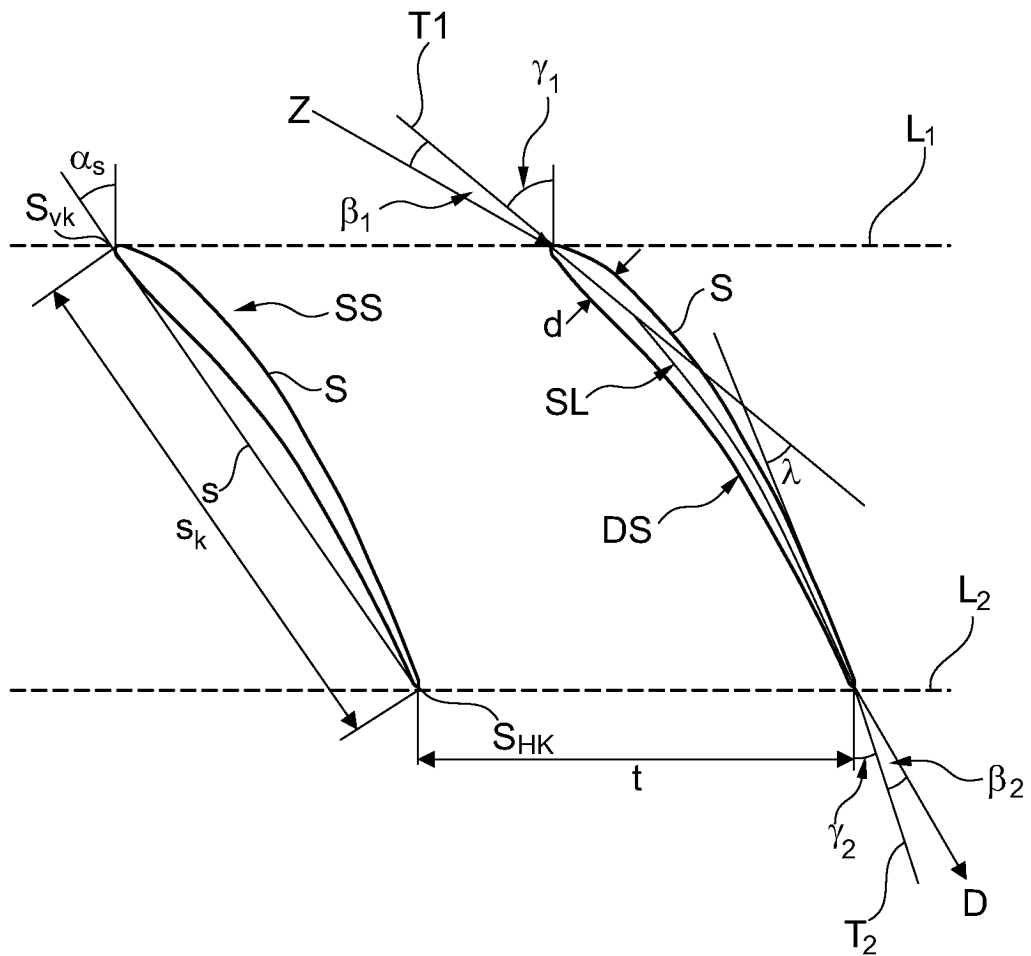


Fig. 4

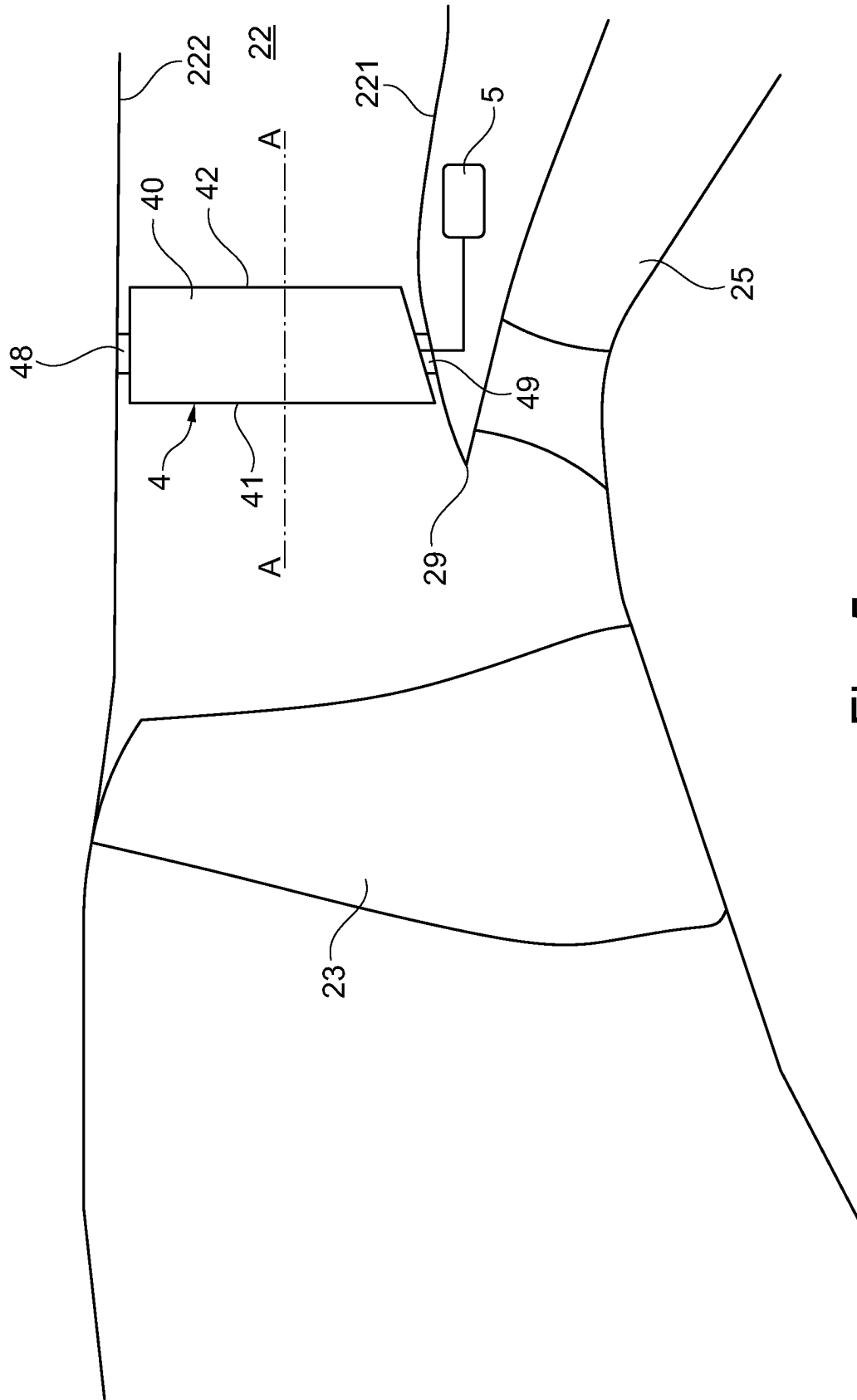


Fig. 5

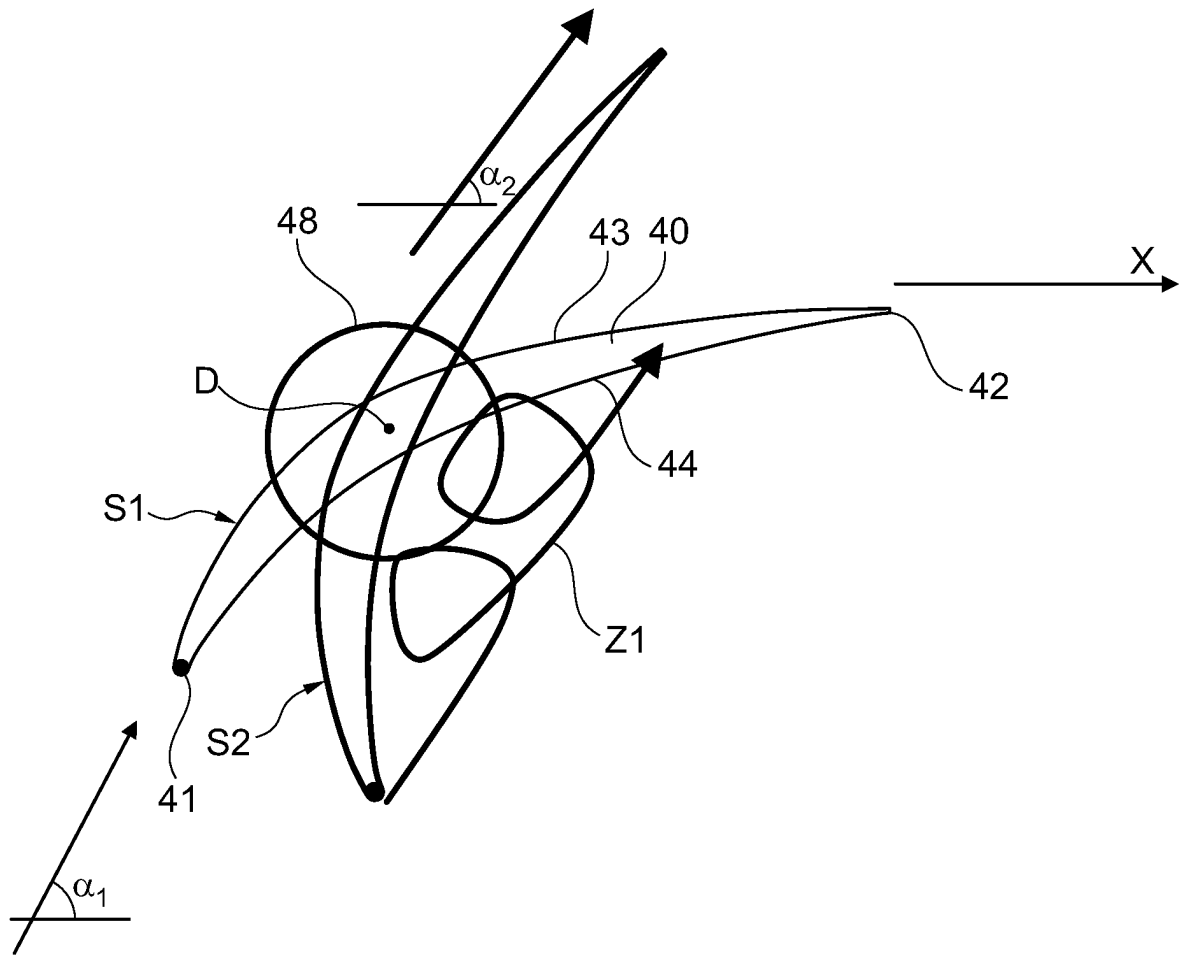


Fig. 6

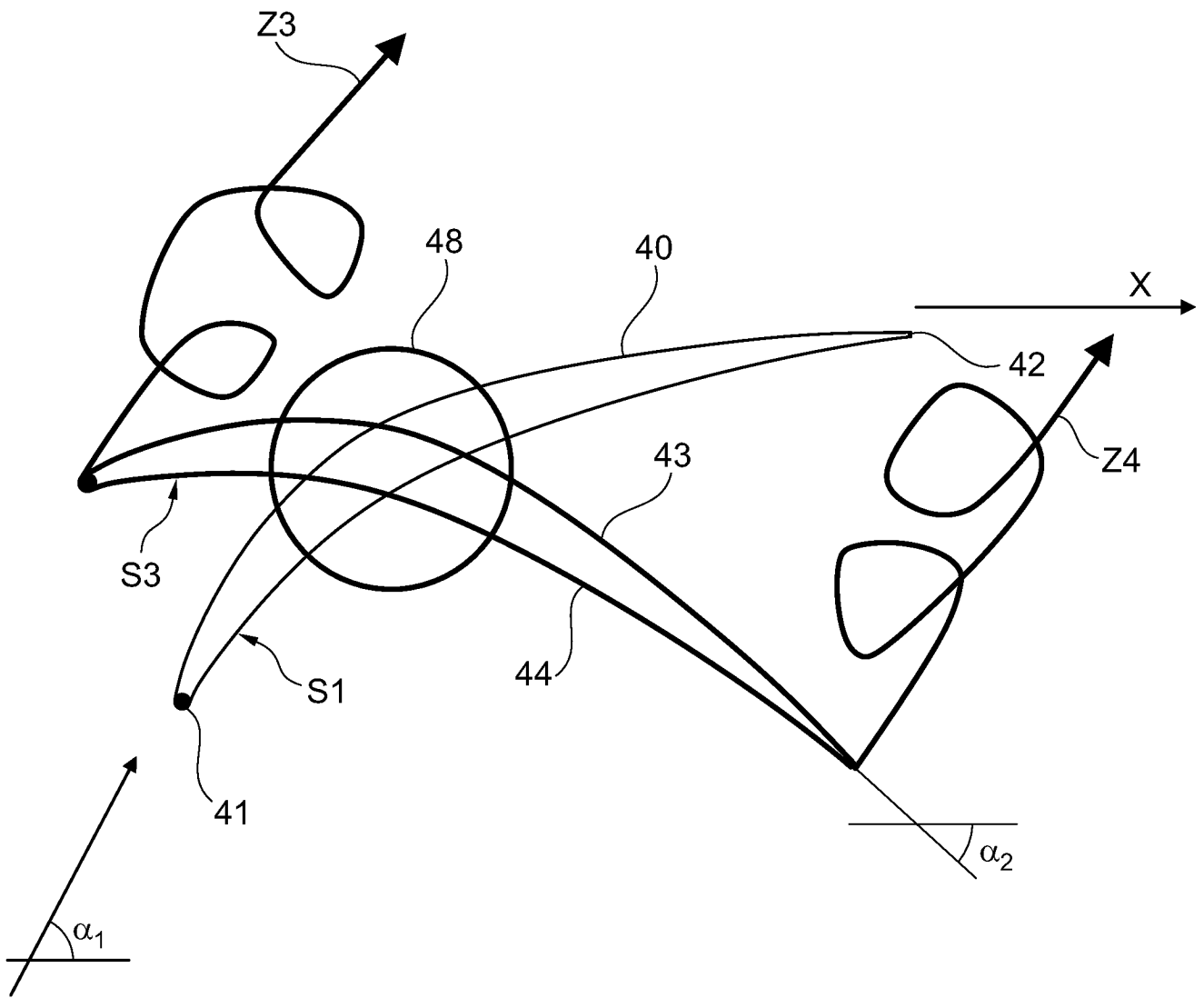


Fig. 7

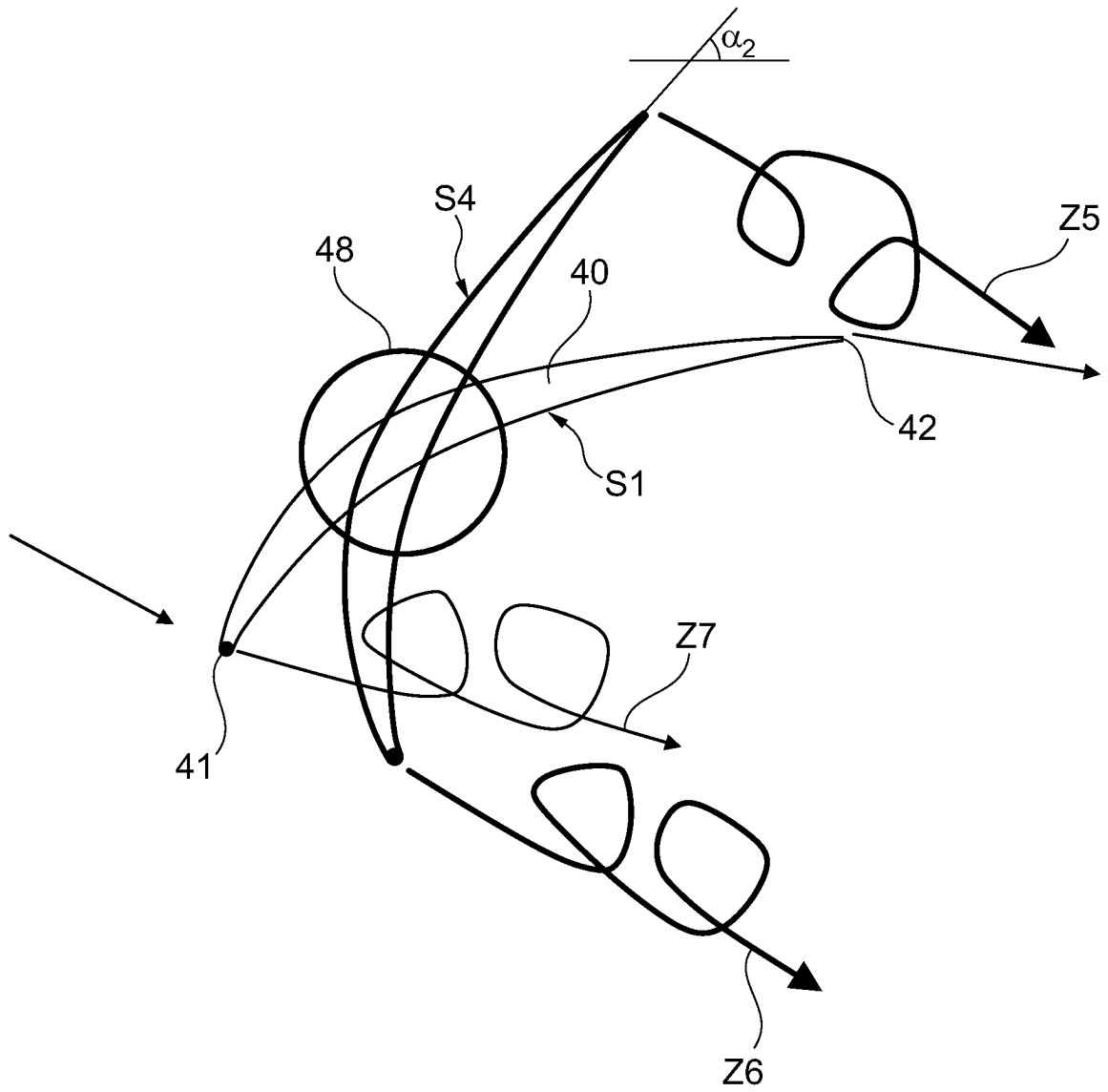


Fig. 8

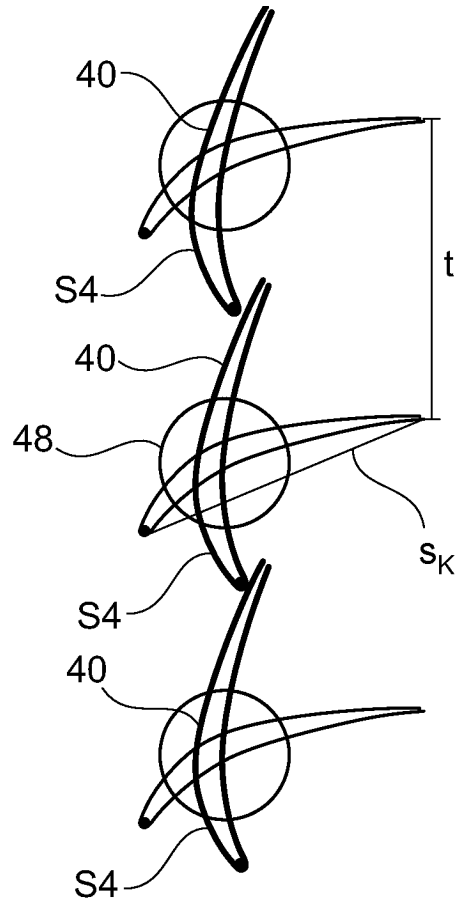


Fig. 9

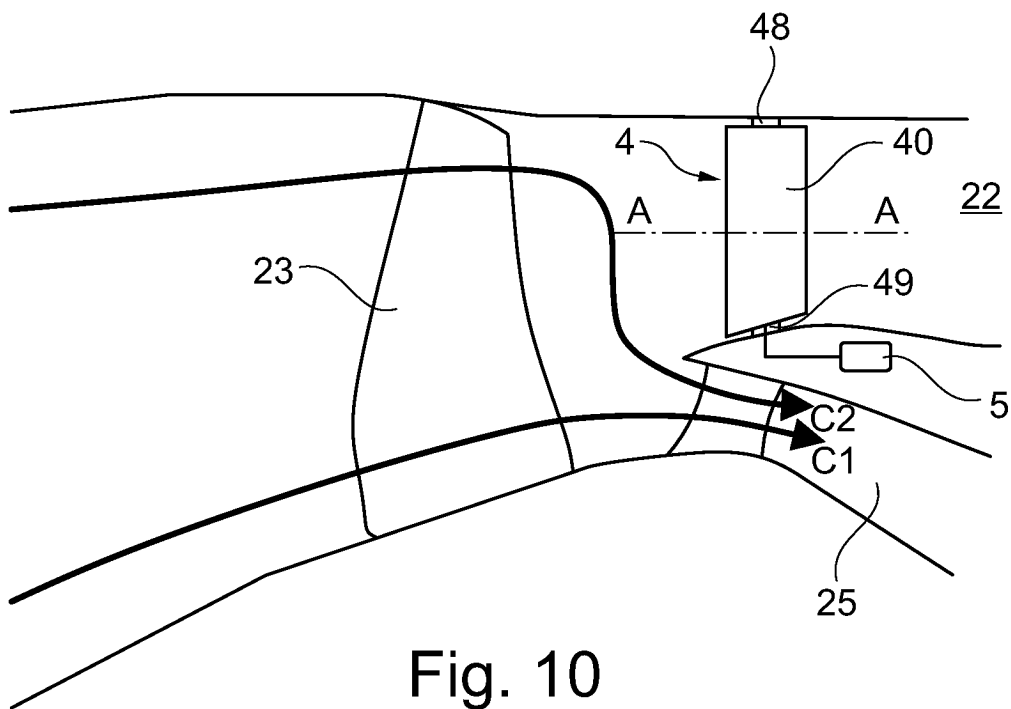


Fig. 10

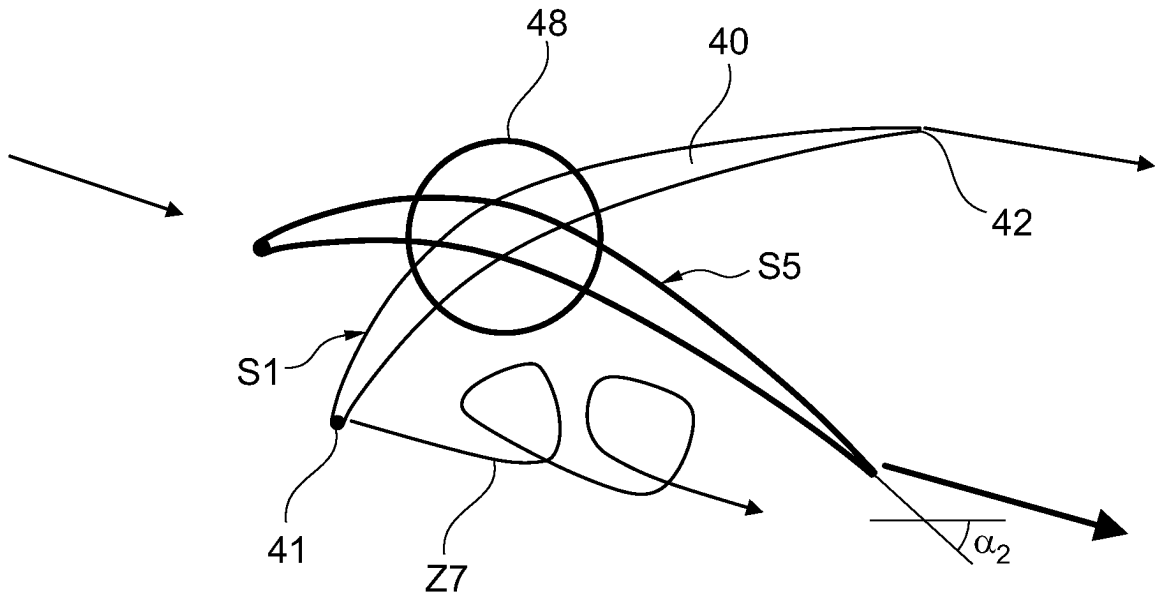


Fig. 11

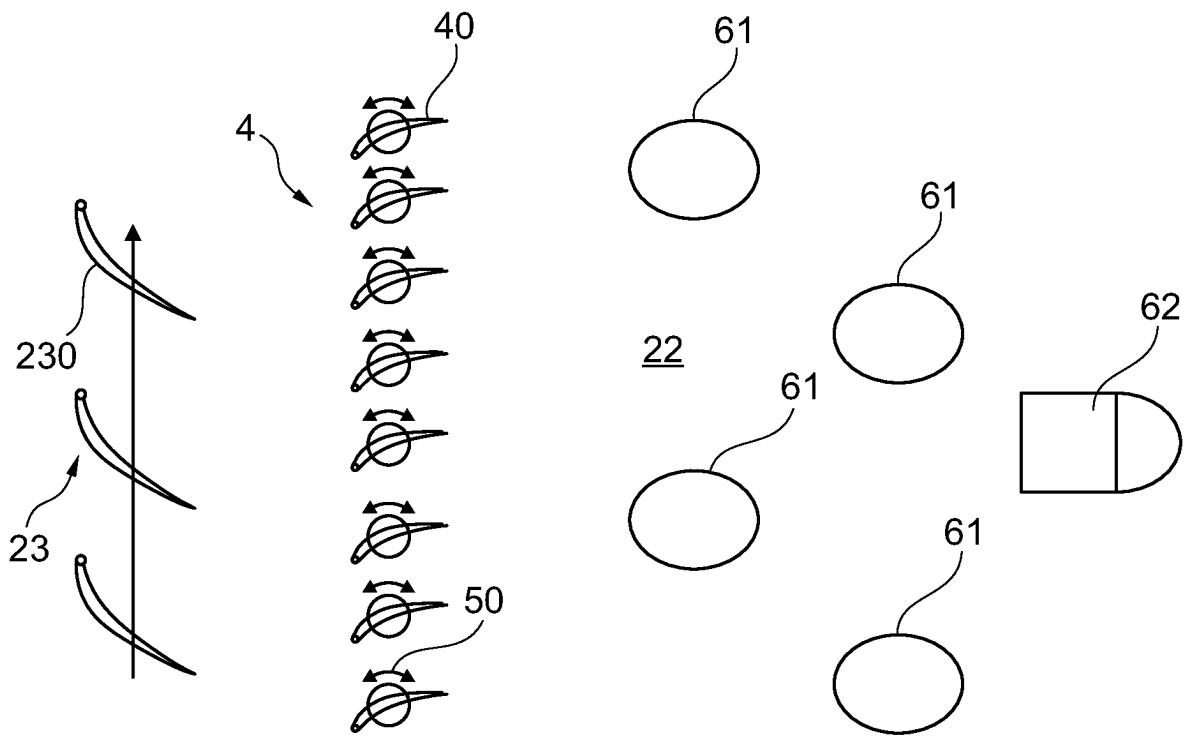


Fig. 12

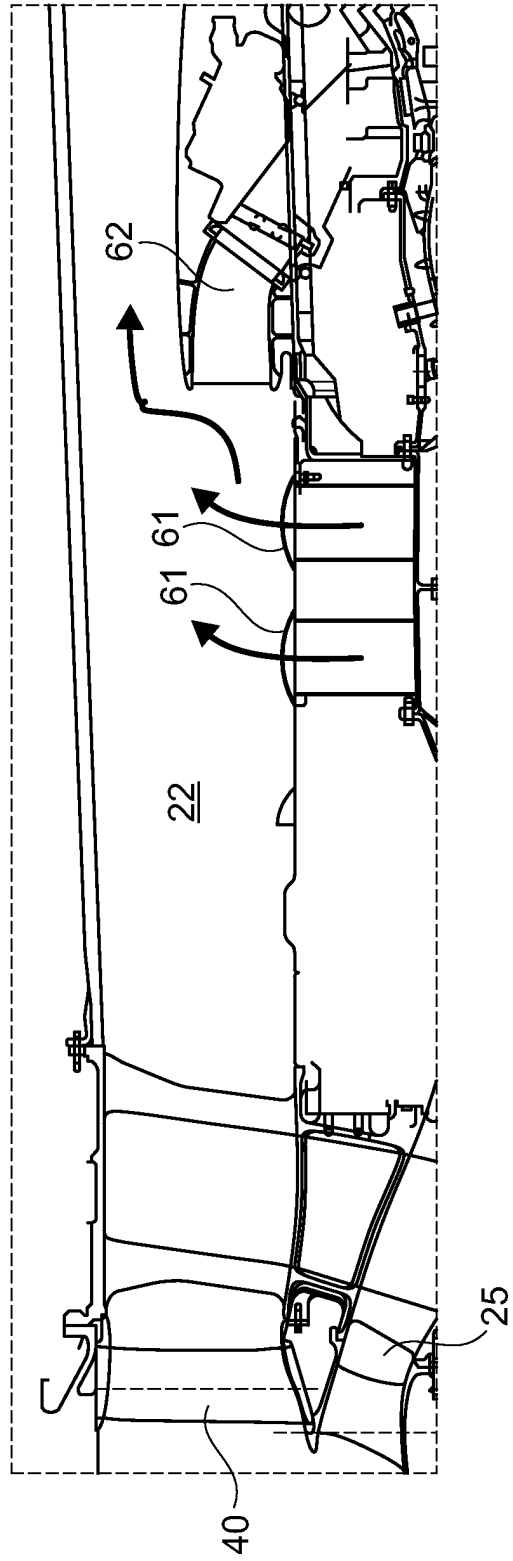


Fig. 13